



TUGAS AKHIR - RE 141581

APLIKASI MODEL *GAUSS* TERMODIFIKASI TERHADAP DISPERSI
PENCEMARAN UDARA DARI SUMBER MAJEMUK
(STUDI KASUS INDUSTRI SEMEN DI KABUPATEN BOGOR)

ANISA FADHILLAH WIDYANI
03211440000016

Pembimbing
Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan
Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141581

**APLIKASI MODEL GAUSS TERMODIFIKASI TERHADAP DISPERSI
PENCEMARAN UDARA DARI SUMBER MAJEMUK
(STUDI KASUS INDUSTRI SEMEN DI KABUPATEN BOGOR)**

**ANISA FADHILLAH WIDYANI
03211440000016**

Pembimbing

Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan
Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - RE 141581

***APPLICATION OF MODIFIED GAUSS MODELLING FOR AIR
POLLUTION DISPERSION FROM MULTIPLE POINT SOURCE
(CASE STUDY CEMENT PLANT INDUSTRY IN BOGOR DISTRICT)***

ANISA FADHILLAH WIDYANI

03211440000016

SUPERVISOR

Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil, Environmental and Geo

Engineering

Institute of Technology Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

APLIKASI MODEL GAUSS TERMODIFIKASI TERHADAP DISPERSI PENCEMARAN UDARA DARI SUMBER MAJEMUK (STUDI KASUS INDUSTRI SEMEN DI KABUPATEN BOGOR)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan Fakultas
Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

ANISA FADHILLAH WIDYANI
NRP : 03211440000016

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., MT.
NIP : 19751018 200501 1 003



APLIKASI PEMODELAN GAUSS TERMODIFIKASI TERHADAP DISPERSI PENCEMARAN UDARA DARI SUMBER MAJEMUK (STUDI KASUS INDUSTRI SEMEN DI KABUPATEN BOGOR)

Nama Mahasiswa : Anisa Fadhillah Widyani
NRP : 03211440000016
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Abdu Fadli Assomadi, SSi., MT.

ABSTRAK

Peningkatan industri semen di kawasan industri Gunung Putri di Kabupaten Bogor, berpotensi meningkatkan gas buang sisa yang dapat berdampak pada masyarakat di permukiman sekitar. Gas polutan yang dihasilkan antara lain adalah SO_2 dan NO_x . Kedua polutan ini dengan adanya oksidan di atmosfer dapat terkonversi menjadi asam nitrat dan asam sulfat. Keterbatasan jumlah titik pantau, perubahan meteorologi, dan pola musim menyebabkan data monitoring kualitas udara ambien belum dapat mendeskripsikan kualitas udara secara komprehensif. Maka dilakukan suatu studi pemodelan dispersi pencemaran udara di wilayah industri semen untuk mendeskripsikan dan analisis kualitas udara akibat industri. Studi ini juga dimaksudkan untuk melengkapi data dasar pengelolaan yang lebih murah.

Pada studi ini digunakan model *Gauss* dimodifikasi dengan kinetika fotokimia untuk mendapatkan pola dispersi dari sumber yang telah diidentifikasi. Parameter pencemar adalah SO_2 dan NO_x . Beban emisi diestimasi dari data pengukuran emisi dan data teknis industri semen tahun 2016-2017 di Kabupaten Bogor. Karakteristik udara menggunakan data iklim dari stasiun meteorologi kelas 1 Bogor, periode pengamatan tahun 2017. Hasil analisis pola umum angin berupa arah dan kecepatan angin digambarkan dalam mawar angin (*wind rose*) sebagai input dalam perhitungan model dispersi. Perhitungan konsentrasi ambien dilakukan menggunakan aplikasi *MATLAB* dengan grid 300. Pola sebaran dibedakan dalam periode rata-rata musim kemarau dan periode rata-rata musim hujan. Pola sebaran dibedakan dalam

periode rata-rata musim kemarau dan periode rata-rata musim hujan.

Hasil penelitian menunjukkan pola angin pada kondisi atmosfer rata-rata musim kemarau dominan ke arah selatan, sedangkan kondisi atmosfer rata-rata pada musim hujan dominan ke arah selatan dan barat. Perhitungan model menunjukkan konsentrasi maksimum SO_2 pada musim hujan dan kemarau diperoleh sebesar $57,6 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan $42,5 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada jarak < 1 km dari pabrik. Konsentrasi maksimum NO_2 pada musim hujan dan kemarau diperoleh sebesar $117 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan $134,2 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada jarak < 1 km dari pabrik. Hasil penelitian menunjukkan sebagian besar emisi SO_2 dan NO_2 cerobong jatuh pada area industri.

Kata Kunci : Gas NO_x , Gas SO_2 , Gauss, Majemuk, Semen

APPLICATION OF MODIFIED GAUSS MODELLING FOR AIR POLLUTION DISPERSION FROM MULTIPLE POINT SOURCE (CASE STUDY CEMENT PLANT INDUSTRY IN BOGOR DISTRICT)

Student Name : Anisa Fadhillah Widyani
NRP : 0321144000016
Departement : Environmental Engineering
Supervisor : Dr. Abdu Fadli Assomadi, SSi., MT.

ABSTRAK

The increasing cement industry in Gunung Putri Industrial Area has potential to increase the exhaust gases which will affected to the surrounding area. Polluted gases which generated from industrial activities are SO_2 and NO_2 . Both of these pollutants in the presence of oxidants in the atmosphere and clouds can be converted to nitric acid and sulfuric acid. limited monitoring points, meteorological changes, and seasonal patterns, the result monitoring data haven't able to describe the air quality comprehensively. Air pollution dispersion modeling in the cement industry to describe and analyze the air quality caused by the industry. This study also to intended supplement basic management data in cheaper cost.

In this study, Gauss model was modified by photochemical kinetics to obtain the dispersion pattern from identified point sources. The pollutant parameters are SO_2 and NO_x . Emission are estimated from the emissions measurement data and technical data of bogor district's cement industry in 2016-2017. Meteorology Characteristics is used climate data from Bogor meteorological station class 1, in observation period 2017. The analysis result of wind pattern direction and velocity is create in wind rose as input to the calculation in dispersion model. The calculation of ambient concentration is used MATLAB with grid 300. Distribution pattern will different in average dry season and average rainy season.

The results showed that wind patterns in the average dry season are dominantly southward, while in the average rainy season are dominant to the south and west. Model showed the maximum concentration of SO_2 during the rainy and dry seasons

are obtained at 57,6 $\mu\text{g} / \text{Nm}^3$ and 42.5 $\mu\text{g} / \text{Nm}^3$ at >1 km from the sources. The maximum concentration of NO_2 in the rainy and dry seasons are obtained at 117 $\mu\text{g} / \text{Nm}^3$ and 134,2 $\mu\text{g} / \text{Nm}^3$ at >1 km from the sources. The results showed that most of NO_2 and SO_2 emissions fell on industrial areas.

Keywords : NO_x , SO_2 , Gauss, Dispersion, Cement

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, taufiq serta hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat penulis menyelesaikan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

Dalam kesempatan ini, penyusun menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T., selaku dosen pembimbing dalam tugas akhir saya. Saya mengucapkan terimakasih atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan.
2. Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T., Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM dan Alfian Purnomo, S.T., M.T., selaku dosen penguji. Saya mengucapkan terimakasih atas segala saran serta masukan yang diberikan kepada penyusun.
3. Ibu Prof Yulinah Trihardiningrum atas bimbingan dan nasehat selama saya menjalani masa perkuliahan.
3. Bapak Hariyadi, Bapak Willy Perdana, Bapak Moejito dan Bapak Totok S dari Departemen Technical PT Holcim Indonesia–Narogong Plant yang telah membimbing dan serta membantu terlaksananya tugas akhir ini.
4. Orang tua penyusun, Dra. Endah Ariyani dan Ir. Anang Widyatmoko atas segala dukungan, doa serta nasihat yang diberikan.
5. Rekan mahasiswa satu bimbingan dan Laboratorium Pengendalian Pencemaran Udara dan Perubahan Iklim.

Penyusunan Laporan Progres Tugas Akhir ini telah diupayakan sebaik-baiknya, namun masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Untuk itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna hasil yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2018

Penyusun

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1_PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Ruang Lingkup	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB 2_TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Gambaran Umum Wilayah Studi	5
2.2. Pencemaran Udara.....	5
2.3. Proses Produksi Semen.....	7
2.4. Perhitungan Beban Emisi Dari Cerobong Pabrik Semen ...	9
2.5. Karakteristik Nitrogen Oksida (NO _x)	10
2.6. Karakteristik Sulfur Dioksida (SO ₂).....	11
2.7. Faktor Kinetika Reaksi Fotokimia Pencemar Non- Konservatif	11
2.8. Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)	12
2.9. Dampak Pencemaran Udara.....	15
2.9.1. Nitrogen Dioksida (NO ₂).....	15
2.9.2. Sulfur Dioksida (SO ₂).....	16
2.10. Faktor yang Mempengaruhi Persebaran Polutan.....	17

2.10.1. Stabilitas Atmosfer	17
2.10.2. Topografi Wilayah	21
2.10.3. Arah dan Kecepatan Angin.....	21
2.10.4. Suhu Udara dan Kelembapan.....	22
2.10.5. Ketinggian Cerobong dan <i>Plume Rise</i>	23
2.11. Model Prediksi Persebaran Polutan.....	24
2.11.1. Model Dispersi	24
2.11.2. Aplikasi Model Dalam Analisis Konsentrasi Polutan.....	25
2.11.3. Model Dispersi Gauss Termodifikasi Kinetika Reaksi Fotokimia	26
2.12. Transformasi Koordinat Kartesius	27
2.13. Verifikasi Model	28
2.14. <i>Tools</i> Dalam Pemodelan.....	29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1. Lokasi Penelitian	31
3.2. Prosedur Penelitian	32
3.3. Ide Penelitian	33
3.4. Tahap Pendahuluan	34
3.5. Pengumpulan Data.....	35
3.6. Pembuatan Model Dispersi	35
3.6.1. Model Dispersi Gauss Termodifikasi Kinetika Reaksi Fotokimia.....	35
3.6.2. Perhitungan Dispersi Dengan Model	36
3.7. Pemodelan Persebaran Emisi	39
3.7.1. Memasukkan Gambar Peta Pada Program MATLAB	39
3.7.2. Membuat <i>Script</i> Awal Pemodelan Dispersi.....	42

3.7.3. Membuat <i>Script Loop</i> Pemodelan Pada Program MATLAB	48
3.7.4. Membuat <i>Script Overlay</i> Pemodelan Pada Program MATLAB	51
3.8. Analisis dan Pembahasan	52
3.9. Kesimpulan dan Saran	53
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1. Gambaran Umum Sumber Emisi.....	55
4.1.1. Data Teknis Cerobong.....	55
4.1.2. Suhu Cerobong.....	56
4.2. Analisis Data Meteorologis	58
4.2.1. Penentuan Musim Hujan dan Musim Kemarau	58
4.2.2. Suhu Udara Ambien.....	60
4.2.3. Arah dan Kecepatan Angin	61
4.2.4. Radiasi Matahari (GRAD)	63
4.3. Karakteristik Emisi.....	66
4.3.1. Konsentrasi Emisi Pada Udara Ambien di Sekitar Wilayah Penelitian	66
4.3.2. Pemilihan Data Verifikasi Model	69
4.3.3. Perhitungan Faktor Pengali Beban Emisi Harian	70
4.4. Perhitungan Data Model	74
4.4.1. Perhitungan Kecepatan Angin Pada 10 m	74
4.4.2. Perhitungan Kecepatan Angin Di Ujung Cerobong.....	74
4.4.3. Perhitungan <i>Flux Bouyancy</i>	75
4.4.4. Perhitungan <i>Plume Rise</i>	76
4.4.5. Perhitungan Beban Emisi.....	80
4.4.5.1. Perhitungan Beban Emisi NO _x	81

4.4.5.2. Perhitungan Beban Emisi SO ₂	82
4.4.6. Faktor Kinetik Emisi NO ₂	83
4.4.7. Menjalankan <i>Script</i> Pemodelan Pada MATLAB	83
4.4.8. Hasil Pemodelan Pada Musim Hujan	84
4.4.9. Hasil Pemodelan Pada Musim Kemarau	95
4.4.10. Konsentrasi Polutan Berdasarkan Output Model Dispersi di Lokasi Sampling Udara Ambien	109
4.4.11. Jarak dan Konsentrasi Maksimum Permukaan Gas SO ₂ dan NO ₂	116
4.5. Hasil Overlay Pemodelan Setiap Parameter Pada Musim Hujan dan Kemarau	119
4.5.1. Musim Hujan	119
4.5.2. Musim Kemarau	121
BAB 5_KESIMPULAN DAN SARAN	123
5.1. Kesimpulan	123
5.2. Saran	123
DAFTAR PUSTAKA	125
BIOGRAFI PENULIS	i

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Angka dan Kategori Indeks ISPU	12
Tabel 2. 2 Batas ISPU untuk Gas SO ₂	13
Tabel 2. 3 Batas ISPU untuk Gas NO ₂	13
Tabel 2. 4 Katerangan Kategori ISPU Untuk SO ₂	14
Tabel 2. 5 Katerangan Kategori ISPU Untuk NO ₂	14
Tabel 2. 6 Baku Mutu Emisi Industri Semen	15
Tabel 2. 7 Efek SO2 Berdasarkan Konsentrasi.....	16
Tabel 2. 8 Kondisi Atmosfer dalam Berbagai Kelas Stabilitas	17
Tabel 2. 9 Koefisien Dispersi untuk Daerah Rural (Pasquill- Gifford).....	18
Tabel 2. 10 Koefisien Dispersi untuk Daerah Urban (Parameter McElroy-Pooler)	18
Tabel 2. 11 Parameter yang Digunakan dalam Perhitungan σ_y Pasquill-Gifford	19
Tabel 2. 12 Parameter yang Digunakan dalam Perhitungan σ_z Pasquill-Gifford	19
Tabel 2. 13 Nilai p untuk Persamaan Perkiraan Kecapatan Angin	21
Tabel 4. 1 Inventarisasi Emisi Unit Pengolahan	55
Tabel 4. 2 Koordinat Geografis Cerobong.....	56
Tabel 4. 3 Data Curah Hujan Tahun 2016 dan 2017	59
Tabel 4. 4 Simbol Pada Titik Pemantauan Ambien Lapangan.....	66
Tabel 4. 5 Hasil pengukuran kualitas udara ambien di sekitar kawasan PT Holcim Indonesia Tbk, Narogong, Bogor	67
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Faktor Emisi Harian	70
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Faktor Emisi Mingguan.....	72
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Faktor Total Emisi	73
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan <i>Plume Rise</i> Musim Hujan NAR 1..	77
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan <i>Plume Rise</i> Musim Hujan NAR 2	78
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan <i>Plume R</i> Musim Kemarau NAR 1	79

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan <i>Plume R</i> Musim Kemarau NAR 280	
Tabel 4. 13 Rata-Rata Hasil Perhitungan Beban Emisi Tiap Cerobong Pada Musim Hujan dan Musim Kemarau..82	
Tabel 4. 14 Hasil Pengukuran Ambien Kuartal 1	84
Tabel 4. 15 Nilai Rata-Rata Pengukuran dan Hasil Model SO ₂ Kuartal 1	90
Tabel 4. 16 Nilai Rata-Rata Pengukuran dan Hasil Model NO ₂ Kuartal 1	94
Tabel 4. 17 Hasil Pengukuran Kualitas Ambien Kuartal 2	96
Tabel 4. 18 Nilai Rata-Rata Pengukuran dan Hasil Model SO ₂ Kuartal 2	102
Tabel 4. 19 Nilai Rata-Rata Pengukuran dan Hasil Model NO ₂ Kuartal 2	108
Tabel 4. 20 Perbandingan Hasil Pemodelan SO ₂ Kuartal 1	110
Tabel 4. 21 Perbandingan Hasil Pemodelan NO _x dengan Data Lapangan.....	111
Tabel 4. 22 Perbandingan Hasil Pemodelan SO ₂ dengan Data Lapangan.....	113
Tabel 4. 23 Perbandingan Hasil Pemodelan dengan Data Lapangan.....	114
Tabel 4. 24 Jarak dan Konsentrasi Maksimum Musim Hujan Hasil Pemodelan	117
Tabel 4. 25 Jarak dan Konsentrasi Maksimum Musim Kemarau Hasil Pemodelan	118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2 Proses Produksi Semen PT Holcim Indonesia Narogong <i>Plant</i>	8
Gambar 2.3 <i>Windrose</i> Stasiun Meteorologi Juanda Musim Hujan Oktober-Maret 2017	22
Gambar 2.4 Model Penyebaran Polutan Berdasarkan <i>Gauss</i>	25
Gambar 2.5 Sistem koordinat kartesius dan kedudukan point source (S) dan receptor (P)	27
Gambar 3. 1 Zona Industri Semen PT Holcim Indonesia <i>Narogong Plant</i>	31
Gambar 3. 2 Lokasi Cerobong di PT Holcim <i>Narogong Plant</i>	32
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3. 4 Tampilan kontur diapersi pencemar multi source dengan MATLAB R2013a	38
Gambar 3. 5 Hasil <i>overlay</i> sumber emisi	39
Gambar 3. 6 Peta contoh pada inputan model (PETA_DISPERSI.jpg)	40
Gambar 3. 7 Penulisan <i>script</i> pada <i>command window</i> MATLAB	41
Gambar 3. 8 Gambar peta yang telah berhasil disesuaikan pada MATLAB	41
Gambar 3. 9 Tampilan kontur dispersi pencemar sumber majemuk.....	48
Gambar 4. 1 Grafik Fluktuasi Suhu <i>Stack</i> Musim Kemarau.....	57
Gambar 4. 2 Grafik Fluktuasi Suhu <i>Stack</i> Musim Hujan.....	57
Gambar 4. 3 Pola Diurnal Suhu Musim Hujan Tahun 2017	60
Gambar 4. 4 Pola Diurnal Suhu Musim Kemarau Tahun 2017 ..	61
Gambar 4. 5 Kecepatan dan arah angin musim kemarau (April- September)	62
Gambar 4. 6 Kecepatan dan arah angin musim hujan (Oktober- Maret)	62
Gambar 4. 7 Profil Vertikal Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian.....	63

Gambar 4. 8 Pola Diurnal GRAD PT Holcim Indonesia Tbk Narogong.....	64
Gambar 4. 9 Fluks intensitas GRAD pada musim hujan tahun 2017.....	65
Gambar 4. 10 Fluks intensitas GRAD pada musim kemarau tahun 2017.....	65
Gambar 4. 11 Arah dan Kecepatan Angin Periode Kuartal 1.....	85
Gambar 4. 12 Hasil analisis pemodelan emisi SO ₂ Kuartal 1.....	86
Gambar 4. 13 Hasil analisa pemodelan SO ₂ Kuartal 1 pada T1.....	87
Gambar 4. 14 Hasil analisa pemodelan SO ₂ Kuartal 1 pada T4.....	87
Gambar 4. 15 Hasil analisa pemodelan SO ₂ Kuartal 1 pada T5.....	88
Gambar 4. 16 Hasil analisa pemodelan SO ₂ Kuartal 1 pada T7.....	88
Gambar 4. 17 Hasil analisa pemodelan SO ₂ Kuartal 1 pada T9.....	89
Gambar 4. 18 Hasil analisa pemodelan SO ₂ Kuartal 1 pada T10	89
Gambar 4. 19 Hasil Analisa Statistik Pemodelan SO ₂ Kuartal 1.....	91
Gambar 4. 20 Hasil analisis pemodelan emisi NO ₂ Kuartal 1	91
Gambar 4. 21 Hasil analisa pemodelan NO ₂ Kuartal 1 pada T1.....	92
Gambar 4. 22 Hasil analisa pemodelan NO ₂ Kuartal 1 pada T2.....	92
Gambar 4. 23 Hasil analisa pemodelan NO ₂ Kuartal 1 pada T4.....	93
Gambar 4. 24 Hasil analisa pemodelan NO ₂ Kuartal 1 pada T5.....	93
Gambar 4. 25 Hasil analisa pemodelan NO ₂ Kuartal 1 pada T9.....	94
Gambar 4. 26 Hasil Analisa Statistik Pemodelan NO ₂ Kuartal 1.....	95
Gambar 4. 27 Arah dan Kecepatan Angin Periode Kuartal 2.....	96
Gambar 4. 28 Hasil analisis pemodelan emisi SO ₂ Kuartal 2.....	97
Gambar 4. 29 Hasil analisis korelasi SO ₂ Kuartal 2 pada T1.....	98
Gambar 4. 30 Hasil analisis korelasi SO ₂ Kuartal 2 pada T2.....	98
Gambar 4. 31 Hasil analisis korelasi SO ₂ Kuartal 2 pada T3.....	99
Gambar 4. 32 Hasil analisis korelasi SO ₂ Kuartal 2 pada T4.....	99
Gambar 4. 33 Hasil analisis korelasi SO ₂ Kuartal 2 pada T5.....	100
Gambar 4. 34 Hasil analisis korelasi SO ₂ Kuartal 2 pada T6.....	100
Gambar 4. 35 Hasil analisis korelasi SO ₂ Kuartal 2 pada T7.....	101
Gambar 4. 36 Hasil analisis korelasi SO ₂ Kuartal 2 pada T8.....	101
Gambar 4. 37 Hasil Analisa Statistik Pemodelan SO ₂ Kuartal 2.....	103

Gambar 4. 38 Hasil Pemodelan NO ₂ Pada Kuartal 2	103
Gambar 4. 39 Hasil Pemodelan NO ₂ Kuartal 2 Pada Titik T1 ...	104
Gambar 4. 40 Hasil Pemodelan NO ₂ Kuartal 2 Pada T2.....	104
Gambar 4. 41 Hasil Pemodelan NO ₂ Kuartal 2 Pada T3.....	105
Gambar 4. 42 Hasil Pemodelan NO ₂ Kuartal 2 Pada T4.....	105
Gambar 4. 43 Hasil Pemodelan NO ₂ Kuartal 2 Pada T5.....	106
Gambar 4. 44 Hasil Pemodelan NO ₂ Kuartal 2 Pada T6.....	106
Gambar 4. 45 Hasil Pemodelan NO ₂ Kuartal 2 Pada T7.....	107
Gambar 4. 46 Hasil Pemodelan NO ₂ Kuartal 2 Pada T8.....	107
Gambar 4. 47 Hasil Pemodelan NO ₂ Kuartal 2 Pada T10.....	108
Gambar 4. 48 Hasil Analisa Statistik Pemodelan NO ₂ Kuartal 2	109
Gambar 4. 49 Hasil Pemodelan Pada T10 Kuartal 1	111
Gambar 4. 50 Fluktuasi Konsentrasi NO ₂ Musim Hujan	112
Gambar 4. 51 Fluktuasi Konsentrasi NO _x Musim Kemarau	116
Gambar 4. 52 Hasil <i>Overlay</i> SO ₂ Musim Hujan	119
Gambar 4. 53 Hasil <i>Overlay</i> NO ₂ Musim Hujan	120
Gambar 4. 54 Hasil <i>Overlay</i> SO ₂ Musim Kemarau	121
Gambar 4. 55 Hasil <i>Overlay</i> NO ₂ Musim Kemarau	122

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Di Kabupaten Bogor terdapat kawasan industri besar yaitu kawasan industri gunung putri. Kawasan tersebut berdekatan dengan lokasi pemukiman penduduk. Pesatnya perkembangan industri di wilayah Kabupaten Bogor meningkatkan potensi gas buang sisa kegiatan industri (Poskota, 2016). Gas polutan yang dihasilkan dari kegiatan industri antara lain adalah SO_2 dan NO_x (Handriyono, *et al.*, 2017). Salah industri di kawasan tersebut adalah industri semen dengan bahan bakar utama batubara. Polutan utama di udara sekitar wilayah industri semen antara lain: ozon (O_3), nitrogen oksida (NO , NO_2 , NO_3), sulfur dioksida (SO_2), karbon oksida (CO , CO_2) dan jatuhnya debu semen (Salama *et al.*, 2011)

Emisi pembakaran batubara menghasilkan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Andreasen *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2010). SO_2 adalah salah satu emisi yang dihasilkan dari pembakaran batubara (Vardar *et al.*, 2010 dalam Tao *et al.*, 2010). Menurut Huang (2015), paparan SO_2 dalam jangka pendek memiliki keterkaitan dengan tingkat resiko kematian. Berdasarkan hasil penelitian di Beijing, emisi SO_2 dan NO_2 memiliki efek pada penyakit pernapasan dan kardiovaskular (Zhang *et al.*, 2011). Emisi SO_2 di wilayah Kabupaten Bogor terbesar dihasilkan dari sektor industri diikuti oleh sektor transportasi (A Noor *et al.*, 2013). Dampak pada lingkungan, gas SO_2 dan NO_x merupakan salah satu polutan penting yang menyebabkan hujan asam (Sutanto *et al.*, 2011)

Hasil pengukuran parameter NO_2 pada tahun 2008 di Jl. Raya Narogong melebihi baku mutu yang ditentukan PP No 41 tahun 1999 yaitu $874,49 \text{ ug/Nm}^3$ (BLH Jawa Barat, 2008). Lokasi tersebut merupakan bagian dari Kecamatan Klapanunggal yang merupakan cakupan daerah Industri Semen PT Holcim *Narogong Plant*. PT Holcim *Narogong Plant* memiliki 7 cerobong yang secara kontinyu menghasilkan emisi. Ketujuh cerobong dapat menjadi sumber emisi majemuk bagi wilayah sekitar pabrik.

Oleh karena itu diperlukan penelitian mengenai pengaruh aktifitas industri semen Holcim di wilayah Kabupaten Bogor terhadap wilayah sekitar.

Pemantauan kualitas udara dapat dilakukan dengan metode kontinyu dan sesaat. Namun, kedua metode tersebut memerlukan biaya dan alat yang sering kali menjadi kendala (Hakiki, 2008). Secara prinsip, data-data hasil pemantauan hanya menggambarkan kualitas atau kuantitas pada posisi tertentu sesuai titik pemantauan. Titik-titik lain di sekitar wilayah tersebut dideskripsikan dengan menggunakan pendekatan atau diasumsikan sama dengan kualitas dari pemantauan terdekat. Maka pemodelan dispersi polutan dapat menjadi alternatif penyelesaian masalah tersebut. Faktor meteorologi seperti suhu udara, kelembaban, arah dan kecepatan angin, stabilitas atmosfer, dan curah hujan dapat mempengaruhi dispersi pencemar (Aji, 2010). Menurut Mosey (2011), ketinggian *plume rise* pada *stack* akan berdampak pada semakin jauhnya daerah konsentrasi maksimum dari sumber polutan. Ketinggian *plume rise* dipengaruhi oleh kecepatan angin. Semakin cepat angin menyebabkan kenaikan *plume* yang semakin kecil sehingga daerah terbentuknya konsentrasi maksimum berada semakin dekat dengan sumber. Seberapa jauh polutan tersebut menyebar dapat diketahui dengan menggunakan pemodelan.

Model Dispersi *Gauss* merupakan salah satu model perhitungan yang banyak digunakan untuk mensimulasikan pengaruh emisi terhadap kualitas udara. Model Dispersi *Gauss* merupakan bentuk persamaan matematika yang dapat dimasukkan ke dalam perhitungan variabel yang bersifat fisik dan diberikan informasi yang lebih detail mengenai sumber cemaran pada suatu daerah yang diteliti (Hasibuan *et al.*, 2015). Pemodelan sebaran polutan dengan model *Gauss* ini telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya seperti pada penelitian Sri Suryani (2010) yaitu membuat model sebaran polutan SO_2 pada cerobong asap PT Semen Tonasa dan sebaran partikulat oleh Ramadhani (2017) pada cerobong semen di wilayah Tuban.

Model Dispersi *Gauss* dengan modifikasi kinetika fotokimia merupakan model *Gauss* yang memperhitungkan kinetika transport dan kinetika reaksi di atmosfer berdasarkan

karakteristik wilayah yang dimodelkan. Karakteristik tersebut antara lain didasarkan pada kekhasan meteorologi wilayah dengan kinetika reaksi pencemarnya. Transformasi kimia merupakan faktor yang sangat penting dalam memprediksi distribusi pencemar terutama pencemar yang reaktif secara fotokimia (non conservative) (Assomadi, 2016).

Berdasarkan hal-hal di atas, dalam penelitian ini dilakukan analisis dan penggambaran pola dispersi menggunakan model dispersi *Gauss* dimodifikasi dengan kinetika reaksi fotokimia untuk sumber emisi dari Pabrik Semen Holcim Narogong. Melalui model dispersi, dapat diperkirakan konsentrasi polutan di berbagai titik berdasarkan kondisi meteorologi daerah bersangkutan menggunakan perhitungan numeris (Hassan, 2000). Selanjutnya dapat dibuat suatu kontur persebaran polutan melalui pemetaan menggunakan *software*.

1.2. Rumusan Masalah

Untuk memprediksi pola persebaran dan pemodelan emisi gas SO_2 dan NO_2 di sekitar wilayah Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Narogong Plant maka dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pola persebaran emisi gas NO_2 dan gas SO_2 berdasarkan model sebaran *Gauss* termodifikasi pada periode musim hujan dan kemarau di wilayah Kabupaten Bogor akibat cerobong PT Holcim Indonesia *Narogong Plant*.
2. Dimana lokasi dan berapa besar konsentrasi maksimum gas NO_2 dan gas SO_2 di ambien berdasarkan model sebaran *Gauss* yang berasal dari cerobong PT Holcim Indonesia *Narogong Plant*.

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan pola persebaran emisi gas NO_2 dan gas SO_2 berdasarkan model sebaran *Gauss* pada periode musim hujan dan kemarau di wilayah Kabupaten Bogor akibat cerobong PT Holcim Indonesia *Narogong Plant*.
2. Menentukan lokasi penerima dan nilai konsentrasi maksimum pencemar emisi gas NO_2 dan gas SO_2 berdasarkan model

sebaran *Gauss* yang berasal dari cerobong PT Holcim Indonesia *Narogong Plant*.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Sumber emisi yang dihitung adalah dari cerobong asap pabrik (sumber tidak bergerak) berjumlah 3 buah cerobong utama sebagai sumber emisi majemuk.
2. Jenis emisi yang dihitung persebarannya adalah gas NO_2 dan gas SO_2 selama musim hujan dan musim kemarau dalam 1 tahun.
3. Asumsi operasional Industri semen adalah normal, tidak ada kejadian khusus seperti *shutdown* dan *startup*, atau operasi tidak normal lainnya. Diasumsi tidak ada pengaruh dari pabrik lain sekitar lokasi penelitian.
4. Persebaran daerah ambien emisi cerobong adalah wilayah Kabupaten Bogor dengan jarak radius dari sumber majemuk maksimal yaitu 3 km.
5. Model dispersi yang digunakan adalah persamaan pendekatan model distribusi pencemaran *Gauss* Termodifikasi dengan penambahan kinetika reaksi pencemar non-konservatif.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Memberikan masukan dalam analisis akademik dalam kegiatan pengelolaan kualitas udara di sekitar wilayah aktivitas industri khususnya industri semen.
2. Sebagai rekomendasi bagi pengambil kebijakan dan instansi terkait pengendalian pencemaran udara.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Wilayah Studi

Gambaran umum ini disusun berdasarkan pada data Kabupaten Bogor dalam angka 2017. Kabupaten Bogor terletak antara 6°19' LU dan 6°47' LS dan antara 106°01'-107°103' BT. Kabupaten Bogor terdiri dari 40 kecamatan dan 434 Desa/Kelurahan. Luas wilayah Kabupaten Bogor adalah berupa daratan seluas 2.663,81 km².

Kabupaten Bogor memiliki tipe morfologi wilayah yang bervariasi dari dataran yang relative rendah di bagian utara hingga dataran tinggi di bagian selatan, yaitu sekitar 29,28% berada pada ketinggian 15-100 meter diatas permukaan laut (dpl), 42,62% berada di ketinggian 100-500 meter, 19,53% berada pada ketinggian 500-1000 meter dpl, 8,43% berada pada ketinggian 1.000-2.000 meter dpl dan 0,22% berada pada ketinggian 2.000-2.500 meter dpl (BPS, 2017).

Kondisi meteorologi Kabupaten Bogor pada awal tahun 2018 suhu udara rata-rata di Kabupaten Bogor pada waktu malam berkisar antara +23°C hingga +24°C, kelembapan relatif : 92-95 %, hembusan angin bertiup dari utara-barat (baratlaut) dengan kecepatan 0-4 km/jam. Pada waktu pagi hari suhu udara menghangat menjadi +24°C hingga +25°C, kelembapan relatif : 87-91%, hembusan angin pelan bertiup dari utara-barat (baratlaut) dengan kecepatan 4-7 km/jam. Pada waktu siang hari suhu udara menghangat menjadi +25°C hingga +26°C, kelembapan relatif : 86-89%, hembusan angin pelan bertiup dari barat dengan kecepatan 7-11 km/jam. Pada waktu sore hari suhu udara turun menjadi +23°C hingga +25°C, kelembapan relatif : 89-93%, hembusan angin pelan bertiup dari barat dengan kecepatan 4-7 km/jam (Meteotrend,2018)

2.2. Pencemaran Udara

Menurut Permen LH No 19 Tahun 2017 tentang Baku Mutu Emisi bagi Usaha dan /atau Kegiatan Industri Semen, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau

komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan.

Menurut *The Environmental Protection Agency* (EPA, 1992), pencemaran udara adalah kehadiran kontaminan dalam jumlah tertentu, baik sendiri ataupun disebabkan emisi lain, dengan konsentrasi dan waktu tinggal dapat membahayakan manusia, tumbuhan atau hewan, atau menyebabkan kerusakan lingkungan yang akan mengganggu kehidupan.

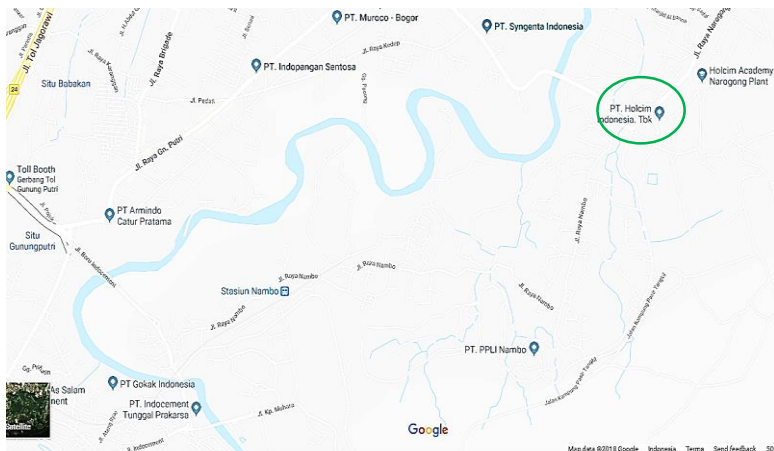
Sumber pencemaran dapat dibedakan menjadi beberapa kategori antara lain :

- A. Berdasarkan jenis pencemarnya, pencemar udara terdiri atas:
 - Pencemar Spesifik: Pencemar yang berasal dari sumber spesifik di suatu tempat tertentu. Misalnya: debu atau partikulat dari industri semen dan amonia dari industri pupuk.
 - Pencemar Indikatif: pencemar bersifat umum dan ditemukan hampir di semua tempat. Misalnya: CO, Oksida Nitrogen dan *Total Suspended Particulate*.
- B. Berdasarkan keadaan sumber pencemarnya terdiri atas:
 - Sumber Tetap (*Stationary Sources*) yaitu sumber pencemar yang tidak berpindah lokasi. Misalnya: Pembangkit Listrik, Pemukiman, dan Industri.
 - Sumber Bergerak (*Mobile Sources*) yaitu sumber pencemar dapat berpindah tempat. Misalnya: kendaraan bermotor, kereta api dan pesawat terbang.
- C. Berdasarkan distribusi ruangnya terdiri atas:
 - Sumber Titik (*Point Sources*) yaitu sumber pencemar yang berada di tempat tertentu. Misalnya: industri.
 - Sumber Garis (*Line Sources*) yaitu sumber pencemar yang dapat berpindah tempat sehingga terdistribusi pada jarak tertentu. Misalnya: kendaraan bermotor.
 - Sumber Area (*Area Sources*) yaitu sumber pencemar dimana sumber pencemar terdistribusi dalam area tertentu. Misalnya: kebakaran hutan.
- D. Berdasarkan pembentukan pencemarnya terdiri atas :
 - Pencemar Primer yaitu adalah pencemar udara yang komposisinya tidak mengalami perubahan dalam atmosfer, baik secara kimiawi maupun fisik dalam jangka waktu tertentu. Misalnya: CO, CO₂, dan CH₄.

- Pencemar Sekunder yaitu pencemar yang terbentuk di atmosfer sebagai hasil reaksi-reaksi atmosferik. Misalnya: hidrolisis, reaksi fotokimia dan oksidasi.

(Vallero, 2008)

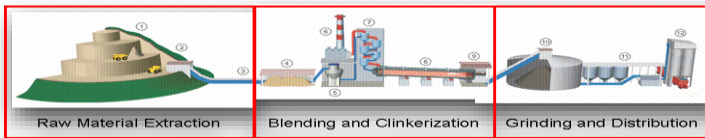
Jumlah Industri yang tersebar di wilayah kabupaten bogor pada tahun 2016 tercatat sejumlah 418 industri besar dan menengah beroperasi di wilayah ini (Ningsih, 2016). Sehingga jika dilihat dari peta Gambar 4.18 , lokasi pabrik PT Holcim Indonesia berdekatan dengan wilayah pabrik lain. Sumber emisi SO_2 yang terukur pada data lapangan dapat dipengaruhi oleh pabrik sekitar dan sumber lain seperti *land source*, *line source*.



Gambar 2. 1 Lokasi pabrik lain terhadap PT Holcim Indonesia
Sumber : Google Maps 2018

2.3. Proses Produksi Semen

Proses produksi secara khusus terdiri dari empat tahapan yaitu penggilingan bahan baku, pembakaran, penggilingan akhir dan pengantongan semen. Secara umum proses produksi semen terdiri dari beberapa tahapan pada Gambar 2.1



Gambar 2. 2 Proses Produksi Semen PT Holcim Indonesia Narogong *Plant*

Sumber : Departemen Teknik-EQS PT Holcim Narogong *Plant*

Keterangan Gambar 2.1 :

1. Tahap penambangan bahan mentah (Batu Kapur, tanah Liat, Pasir Besi dan Pasir Silica)
2. Tahap penggilingan awal bahan mentah
3. Tahap pengangkutan bahan mentah (dengan Belt Conveyor)
4. Tahap pencampuran dan penimbangan bahan mentah
5. Tahap penggilingan halus bahan mentah
6. Pembuangan emisi gas
7. Pemanasan awal di preheater
8. Pemanasan lanjut dan reaksi pembentukan kristal clinker di kiln
9. Pendinginan clinker di Cooler
10. Penyimpanan clinker di silo clinker
11. Penggilingan akhir
12. Pengeluaran semen

Semen diproduksi dari bahan geologi yang mengandung CaO , SiO_2 , Al_2O_3 dan FeO dalam kadar tertentu sesuai dengan komposisi semen (Bediako et al., 2015). Menurut Meo (2003), semen diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu semen alam dan buatan (portland). Semen portland adalah campuran dari CaO (62%-66%), SiO_2 (19%-22%), Al_2O_3 (4%-8%), FeO (2%-5%) dan MgO (1%-2%).

Gas polutan yang dihasilkan dari kegiatan industri antara lain adalah SO_2 dan NO_x (Handriyono, et al., 2017). Salah industri di

kawasan tersebut adalah industri semen dengan bahan bakar utama batubara. Emisi pembakaran batubara menghasilkan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Andreasen *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2010). SO₂ adalah salah satu emisi yang dihasilkan dari pembakaran batubara (Vardar *et al.*, 2010 dalam Tao *et al.*, 2010).

2.4. Perhitungan Beban Emisi Dari Cerobong Pabrik Semen

Menurut Permen LH No 19 Tahun 2017 perhitungan emisi dari cerobong asap menggunakan *Continous Emissions Monitoring System* (CEMS) yaitu dengan persamaan rumus :

$$E = C_{av} \times Q \times 0.0036 \times (Op\ Hours) \dots\dots (2.1)$$

$$Q = V_{av} \times A \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

E	= Laju Emisi Pencemar (kg/hari)
C_{av}	= Konsentrasi terukur rata-rata harian (mg/Nm ³)
Q	= Laju alir emisi volumetrik (m ³ /detik)
0,0036	= Faktor konversi dari mg/detik ke kg/jam
Op Hours	= Jam operasi pembangkit selama 1 (satu) hari
V_{av}	= Laju alir rata-rata harian (m/detik)
A	= Luas penampang cerobong (m ²)

Sedangkan perhitungan emisi dari hasil pengukuran emisi secara manual dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = C \times Q \times 0.0036 \times (Op\ Hours) \dots\dots (2.3)$$

$$Q = V \times A \dots\dots\dots(2.4)$$

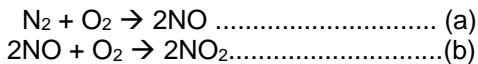
Dimana :

E	= Laju Emisi Pencemar (kg/tahun)
C	= Konsentrasi terkoreksi (mg/Nm ³)
Q	= Laju alir emisi (gas buang) volumetrik (m ³ /detik)
0,0036	= Faktor konversi dari mg/detik ke kg/jam
Op Hours	= Jam operasi pembangkit selama 6 (enam) bulan
V	= Laju alir (m/detik)
A	= Luas penampang cerobong (m ²)

2.5. Karakteristik Nitrogen Oksida (NO_x)

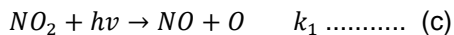
Nitrogen Oksida (NO_x) merupakan salah satu gas pencemar udara yang mempengaruhi kualitas udara. Nitrogen oksida sering disebut dengan NO_x karena oksida nitrogen mempunyai 2 bentuk yang sifatnya berbeda, yakni gas NO₂ dan gas NO_x. Sifat gas NO₂ adalah berwarna dan berbau, sedangkan gas NO tidak berwarna dan tidak berbau (Prayudi *et al.*, 2003). Warna gas NO₂ adalah merah kecoklatan dan berbau tajam menyengat hidung.

NO_x terbentuk atas tiga fungsi yaitu Suhu (T), Waktu Reaksi (t), dan konsentrasi Oksigen (O₂), NO_x = f (T, t, O₂) (Sugiarti, 2009). Secara umum proses pembentukan gas NO_x ini mengikuti persamaan reaksi :

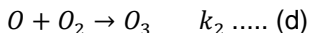


Pada suhu kamar, pembentukan NO yang dihasilkan dari reaksi antara gas oksigen dan gas nitrogen akan berlangsung sangat lambat. Pada temperatur diatas 1200°C, gas oksigen dan gas nitrogen akan bereaksi sangat cepat untuk menghasilkan nitrit oksida (Prayudi *et al.*, 2003).

Menurut Assomadi (2016), gas NO₂ merupakan salah satu pencemar non-konservatif (reaktif). Gas NO₂ sangat sensitif terhadap perubahan intensitas radiasi matahari karena dapat bereaksi membentuk O₃ (ozon). Reaksi pembentukan NO₂ menjadi O₃ dapat dilihat pada persamaan reaksi inisiasi radikal dalam fotokimia.



Radikal O yang terbentuk pada reaksi d secara cepat membentuk gas ozon ketika bertemu dan bertumbukan dengan molekul-molekul oksigen (O₂) bebas di atmosfer.



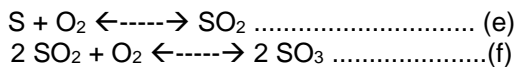
Dalam proses distribusinya, gas NO₂ dipengaruhi oleh difusi, adveksi, dan reaksi yang dijalannya di atmosfer.

2.6. Karakteristik Sulfur Dioksida (SO₂)

SO₂ adalah pencemar dari sumber industri yang berperan sebagai prekursor H₂SO₄, komponen partikel aerosol yang mempengaruhi deposisi asam, iklim global, dan lapisan ozon global. Sumber utama SO₂ adalah pembangkit listrik tenaga batu bara, pembakaran bahan bakar fosil, dan gunung berapi (Jacobson, 2002).

Menurut Tsonis (2007), proses pembakaran yang mengandung unsur sulfur akan menghasilkan gas SO₂ dan SO₃. SO₂ mempunyai karakteristik berbau tajam dan tidak mudah terbakar di udara. SO₃ merupakan komponen yang tidak reaktif. Keduanya disebut sulfur oksida (SO_x).

Mekanisme pembentukan SO_x dapat dituliskan dalam 2 tahap reaksi berikut :



Menurut Depkes (2012), jumlah SO₂ yang teroksidasi menjadi SO₃ dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jumlah air yang tersedia, intensitas, waktu dan distribusi sinar matahari, jumlah bahan katalik dan bahan *absortif*, dan *alkalin* yang tersedia.

2.7. Faktor Kinetika Reaksi Fotokimia Pencemar Non-Konservatif

Persamaan pendekatan kinetika reaksi fotokimia pada pencemar non-konservatif yang menyatakan perubahan konsentrasi dalam kurun waktu tertentu dapat ditulis dalam perumusan di bawah ini :

$$\begin{aligned} \frac{d[\text{O}]}{dt} &= k_1[\text{NO}_2]h\nu - k_2 [\text{O}][\text{O}_2] \text{..... (g)} \\ \frac{d[\text{O}_3]}{dt} &= k_2 [\text{O}][\text{O}_2] \text{.....(h)} \end{aligned}$$

Nilai [NO₂] pada persamaan di atas menyatakan konsentrasi awal dalam sebuah reaksi. Sedangkan di lapangan, konsentrasi NO₂ terukur merupakan konsentrasi sisa yang ada di atmosfer. Dengan demikian diperlukan konversi dari konsentrasi

NO₂ awal ([NO₂]_i) menjadi konsentrasi NO₂ sisa [NO₂]_r).
 Persamaan konversi dapat ditulis dalam rumus :

$$[NO_2] = \frac{ki}{[NO_2]_r} \dots\dots (i)$$

Konstanta laju reaksi (k) untuk NO₂ dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$k_{NO_2} = \frac{[O_3]_t[NO_2]_r}{h\nu_t} = \frac{\left(\frac{\mu g}{m^3}\right)^2}{watt} \dots\dots (j)$$

(Assomadi,2016).

2.8. Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

Menurut Kep Bapedal No 107 Tahun 1997 tentang Indeks Standar Pencemar Udara, ISPU adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Rentang ISPU adalah sebagai berikut pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Angka dan Kategori Indeks ISPU

Indeks	Angka
1-50	Baik
51-100	Sedang
101-199	Tidak Sehat
200-299	Sangat Tidak Sehat
300<	Berbahaya

Sumber : Kep Bapedal No 107 Tahun 1997

Tabel 2. 2 Batas ISPU untuk Gas SO₂

ISPU	24 jam SO₂ µg/m³
10	80
100	365
200	800
300	1600
400	2100
500	2620

1. Pada 25⁰C dan 760 mmHg
2. Tidak ada indeks yang dapat dilaporkan pada konsentrasi rendah dengan jangka paparan yang pendek

Tabel 2. 3 Batas ISPU untuk Gas NO₂

ISPU	1 jam NO₂ µg/m³
10	(2)
100	(2)
200	1130
300	2260
400	3000
500	3750

1. Pada 25⁰C dan 760 mmHg
2. Tidak ada indeks yang dapat dilaporkan pada konsentrasi rendah dengan jangka paparan yang pendek

Berdasarkan S.K. MENKLH No.: Kep.02/MENKLH/ 1988 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan, ambang batas maksimum untuk pencemaran SO₂ di udara ambien untuk pengukuran 24 jam adalah 260 µg/m³. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metoda analisa spektrofotometri dengan absorban NaOH (hidrogen peroksida) dan peralatan *spektrofotometer*.

Ambang batas maksimum untuk pencemaran NO₂ di udara ambien untuk pengukuran 24 jam adalah 92,5 µg/m³. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metoda analisa spektrofotometri dengan absorban H₃BO₃ (*Boric Acid*) dan peralatan *spektrofotometer*.

Tabel 2. 4 Katerangan Kategori ISPU Untuk SO₂

Kategori	Keterangan
Baik	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan O ₃ (Selama 4 Jam)
Sedang	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan
Tidak Sehat	Bau Meningkatnya kerusakan tanaman
Sangat Tidak Sehat	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asthma dan bronchitis
Berbahaya	Tingkat kualitas udara berbahaya yang dan dapat merugikan kesehatan manusia yang serius pada populasi

Tabel 2. 5 Katerangan Kategori ISPU Untuk NO₂

Kategori	Keterangan
Baik	Sedikit berbau
Sedang	Berbau
Tidak Sehat	Bau dan kehilangan warna

	Peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma
Sangat Tidak Sehat	Meningkatnya sensitivitas pada pasien
	berpenyakit asthma dan bronchitis
Berbahaya	Tingkat kualitas udara berbahaya yang dapat merugikan kesehatan manusia yang serius pada populasi

Tabel 2. 6 Baku Mutu Emisi Industri Semen

Parameter	Baku Mutu (mg/Nm ³)
SO ₂	650
Partikulat/ Debu	30
NO _x	800
CO	3000

Sumber : Permen LH No 19 Tahun 2017

2.9. Dampak Pencemaran Udara

2.9.1. Nitrogen Dioksida (NO₂)

Dampak langsung dari pencemaran NO_x adalah terjadinya hujan asam dan dapat berdampak terhadap kesehatan manusia, seperti bronkitis dan asma (Prayudi *et al.*, 2003)

Nitrogen oksida yang ada di udara yang dihirup oleh manusia dapat menyebabkan kerusakan paru-paru. Selain itu zat oksida ini jika bereaksi dengan asap bensin yang tidak terbakar dengan sempurna dan zat hidrokarbon lain akan membentuk ozon rendah atau smog kabut berwarna coklat kemerahan yang menyelimuti sebagian besar kota di dunia (Sugiarti, 2009).

2.9.2. Sulfur Dioksida (SO₂)

SO₂ merupakan gas tak berwarna yang menimbulkan rasa jika konsentrasinya 0,3 ppm dan menghasilkan bau kuat pada konsentrasi >0,05 ppm. Gas SO₂ dan H₂SO₄ (aq) dengan konsentrasi tinggi dapat merusak paru-paru (Jacobson, 2002 dalam Cahyono, 2011). Sifat lain yang dimiliki gas SO₂ yaitu tidak bersifat flammable maupun explosive, memiliki kelarutan dalam air sebesar 11,3 g/ 100 ml pada suhu 20°C (Alfiah, 2009).

Sebagai salah satu pencemar udara gas SO₂ memiliki waktu tinggal dalam udara antara 2 sampai 4 hari, dan dalam waktu tersebut SO₂ dapat terdispersi sejauh 1000 km, sehingga dapat dikatakan gas SO₂ relatif stabil di atmosfer (Alfiah, 2009). Berikut adalah efek SO₂ terhadap kesehatan berdasarkan konsentrasinya pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 7 Efek SO₂ Berdasarkan Konsentrasi

Konsentrasi SO₂ (ppm)	Dampak / Efek
3-5	Menimbulkan bau
8-12	Menimbulkan iritasi saluran pernafasan
20	Menimbulkan iritasi pada mata
20	Menyebabkan batuk
20	Maksimum konsentrasi untuk paparan yang lama
50-100	Maksimum konsentrasi untuk paparan selama 30 menit
s/d 500	Berbahaya walaupun untuk pemaparan yang singkat

Sumber : *Environmental Chemistry*, 1995 dalam Buku DKI, 2000 dalam Cahyono 2011

2.10. Faktor yang Mempengaruhi Persebaran Polutan

2.10.1. Stabilitas Atmosfer

Witono (2003) dalam Permatasari (2014), menyatakan bahwa pencampuran ke arah vertikal yang tidak bagus disebabkan oleh atmosfer yang tidak stabil. Kejadian ini terjadi dikarenakan adanya insolasi yang cukup tinggi, sehingga memanasi permukaan bumi yang menyebabkan pemanasan pada lapisan udara bagian bawah.

Klasifikasi stabilitas yang banyak digunakan adalah klasifikasi yang dikembangkan oleh Pasquill dan Gifford (PGT). Kategori PGT dihitung dari kecepatan angin (10 meter di atas permukaan) dan mendatangkan insolasi sebagai parameter pengembangan, dengan kategori (A = sangat tidak stabil, B = tidak stabil menengah, C = sedikit tidak stabil, D = netral, E = agak stabil, F = stabil) yang berhubungan dengan kurva σ_y (kualitas plume lateral) dan σ_z (kualitas plume vertical) untuk difusi waktu rata-rata. Adapun kategori penentuan stabilitas tersebut disajikan pada Tabel 2.6 (Koehn, 2013).

Tabel 2. 8 Kondisi Atmosfer dalam Berbagai Kelas Stabilitas

Kecepatan angin	Radiasi matahari siang hari			Keawanan malam hari	
permukaan (m/det) ^a	Kuat ^b	Sedang ^c	Rendah	Berawan (≥4/8) ^d	Cerah (≤3/8) ^e
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Keterangan:

^aKecepatan angin permukaan diukur pada ketinggian 10 meter di atas permukaan

^bSiang hari pada musim panas yang cerah dengan ketinggian matahari > 60° di atas garis horizon.

^cSiang hari musim panas sedikit gumpalan awan, atau siang hari cerah dengan ketinggian matahari 35° – 60° celcius di atas horizon.

^dSiang hari menjelang sore, atau siang hari musim panas yang berawan, atau siang hari musim panas dengan sudut ketinggian matahari 15° – 35°

^eKeawanan didefinisikan sebagai fraksi dari penutupan langit oleh awan.

Tabel 2. 9 Koefisien Dispersi untuk Daerah Rural (Pasquill-Gifford)

<i>Stability Class</i>	σ_y (m)	σ_z (m)
A	$0.22X (1.0+0.0001 X)^{-1/2}$	$0.20X$
B	$0.16X (1.0+0.0001 X)^{-1/2}$	$0.12X$
C	$0.11X (1.0+0.0001 X)^{-1/2}$	$0.08X (1.0+0.0002 X)^{-1/2}$
D	$0.08X (1.0+0.0001 X)^{-1/2}$	$0.06X (1.0+0.0015 X)^{-1/2}$
E	$0.06X (1.0+0.0001 X)^{-1/2}$	$0.03X (1.0+0.0003 X)^{-1/2}$
F	$0.04X (1.0+0.0001 X)^{-1/2}$	$0.016X (1.0+0.0003 X)^{-1/2}$

Tabel 2. 10 Koefisien Dispersi untuk Daerah Urban (Parameter McElroy-Pooler)

<i>Stability Class</i>	σ_y	σ_z
A	$0.32X (1.0+0.0004 X)^{-1/2}$	$0.24X (1.0+0.001 X)^{1/2}$
B	$0.32X (1.0+0.0004 X)^{-1/2}$	$0.24X (1.0+0.001 X)^{1/2}$
C	$0.22X (1.0+0.0004 X)^{-1/2}$	$0.20 X$
D	$0.16X (1.0+0.0004 X)^{-1/2}$	$0.14X (1.0+0.003 X)^{-1/2}$
E	$0.11X (1.0+0.0004 X)^{-1/2}$	$0.08X (1.0+0.015 X)^{-1/2}$
F	$0.11X (1.0+0.0004 X)^{-1/2}$	$0.08X (1.0+0.015 X)^{-1/2}$

Sumber : Visscher, 2014

Keterangan x adalah jarak downwind dari sumber dalam satuan meter

$$\sigma_y = 465,11628 \cdot X \cdot \tan (TH) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$TH = 0,017453293 \cdot [c \cdot d \ln(X)] \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\sigma_z = a \cdot x^b \dots\dots\dots (2.7)$$

keterangan :

σ_y = Parameter dispersi arah horizontal (m)

σ_z = Parameter dispersi arah vertikal (m)

X = jarak downwind (km)

Nilai a,b,c dan d terdapat pada tabel 2.11 dan tabel 2.12

Tabel 2. 11 Parameter yang Digunakan dalam Perhitungan σ_y Pasquill-Gifford

Kelas Stabilitas	c	d
A	24,1760	2,5334
B	18,3330	1,8096
C	12,5000	1,0857
D	8,3330	0,72382
E	6,2500	0,54287
F	4,1667	0,36191

Sumber : EPA,1995

Tabel 2. 12 Parameter yang Digunakan dalam Perhitungan σ_z Pasquill-Gifford

Kelas Stabilitas	x(km)	a	b
A	< 0,1	122,80	0,9447
	0,1 - 0,15	158,08	1,0542
	0,16 - 0,2	170,22	1,0932
	0,21 - 0,26	179,52	1,1262
	0,27 - 0,3	217,41	1,2644
	0,31 - 0,4	258,59	1,4094
	0,41 - 0,5	346,75	1,7283
	0,51 - 3,11	453,85	2,1166
B	< 0,02	90,673	0,93198
	0,021 - 0,4	98,483	0,98332
	>0,4	109,30	1,0971

C	-	61,141	0,91465
	< 0,03	35,459	0,86974
	0,031 – 1	32,093	0,81066
	1,01 – 3	32,093	0,64403
D	3,01 – 10	33,504	0,60486
	10,01 – 30	36,650	0,56589
	30	44,053	0,51179
	< 0,01	24,260	0,83660
	0,1 – 0,3	23,331	0,81596
	0,31 – 1	21,628	0,75660
	1,01 – 2	21,628	0,63077
E	2,01 – 4	22,534	0,57154
	4,01 – 10	24,703	0,50527
	10,01 – 20	26,970	0,46713
	20,01- 40	35,420	0,37615
	>40	47,618	0,29592

Kelas Stabiitas	x(km)	a	b
	<0,2	15,209	0,81558
	0,021 – 0,7	14,457	0,78407
	0,71 – 1	13,953	0,68465
	1,01 – 2	13,953	0,63227
	2,01 – 3	14,823	0,54503
F	3,01 – 7	16,187	0,46490
	7,01 – 15	17,836	0,41507
	15,01 – 30	22,651	0,32681
	30,01 – 60	27,074	0,27436

>60 34,219 0,21716
 Sumber : EPA,1995

2.10.2. Topografi Wilayah

Pengaruh topografi cukup rumit, sehingga perlu mengenali jenis pegunungan dengan kriterianya. Puncak yang tinggi mengalami suhu yang hampir sama dengan udara bebas pada ketinggian yang sama, sementara dataran tinggi dipanaskan dan didinginkan oleh proses radiasi. Lembah diantara dataran tinggi memiliki atmosfer tertutup yang secara diurnal dimodifikasi oleh pendinginan malam hari, khususnya di musim dingin dan dinaikkan (suhunya) oleh pemanasan siang hari. Wilayah dengan topografi datar, pola anginnya relatif tidak mengalami gangguan, pengaruh topografi datar terhadap dispersi dan lintasan kepulan sangat kecil (Ruhiat, 2008).

2.10.3. Arah dan Kecepatan Angin

Arah dan kecepatan angin dari sudut yang berbeda akan mempengaruhi perbedaan difusi polutan. Sudut vertikal dan tegak lurus akan menyebabkan konsentrasi polutan tinggi dibandingkan dari sudut yang lain. Arah angin akan mempengaruhi proses transport dan arah persebaran dispersi dari suatu polutan (Zhang et al, 2015)

$$U_2 = U_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^p \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

U_2 dan U_1 = kecepatan angin pada ketinggian 1 dan 2 (m/s)
 Z_1 dan Z_2 = ketinggian 1 dan ketinggian 2 (m)
 P = fungsi stabilitas atmosfer

(Newman *et al.*, 2014)

Berikut adalah tabel untuk menentukan nilai p pada persamaan (2.8)

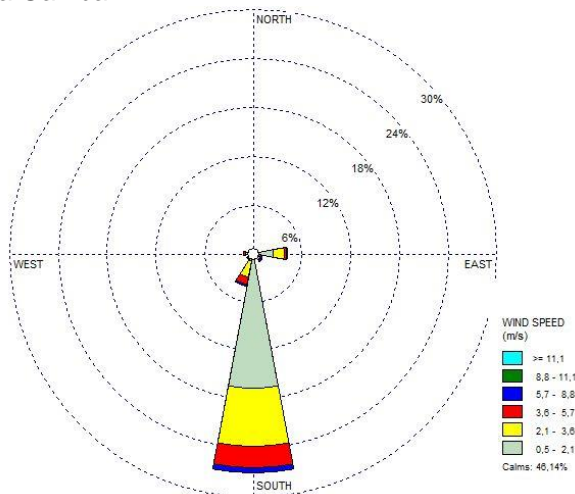
Tabel 2. 13 Nilai p untuk Persamaan Perkiraan Kecapatan Angin

Kelas Stabilitas	<i>P</i> (kota)	<i>P</i> (desa)
A	0,11	0,15

Kelas Stabilitas	<i>P</i> (kota)	<i>P</i> (desa)
B	0,12	0,15
C	0,12	0,20
D	0,27	0,25
E	0,29	0,40
F	0,45	0,69

Sumber : Beychok, 2005

Gambaran hasil yang didapatkan dalam analisis windrose dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 3 *Windrose* Stasiun Meteorologi Kabupaten Bogor Musim Hujan Oktober-Maret 2018

2.10.4. Suhu Udara dan Kelembapan

Berdasarkan hasil penelitian Anthika *et al.* (2012), suhu udara yang tinggi, kelembapan udara yang rendah serta kecepatan angin yang tinggi menyebabkan konsentrasi polutan rendah, sedangkan suhu udara yang rendah, kelembapan udara yang tinggi dan kecepatan angin yang rendah menyebabkan konsentrasi polutan menjadi tinggi. Suhu udara yang tinggi membuat densitas udara di dekat permukaan bumi menjadi lebih

rendah daripada udara di atasnya menyebabkan terjadinya aliran konveksi ke atas yang membawa berbagai polutan

2.10.5. Ketinggian Cerobong dan *Plume Rise*

Menurut Visscher (2014), *plume rise* terjadi ketika gas meninggalkan cerobong, hal ini terjadi karena faktor *bouyancy* dan momentum. *Bouyancy* merupakan pemuaian gas karena perbedaan temperatur sedangkan momentum terjadi karena perbedaan kecepatan gas yang tinggi ketika keluar dari cerobong.

Witono (2003), menerangkan bahwa dalam banyak hal perlu dilakukan estimasi tinggi efektif cerobong (H_e) dalam menentukan tinggi *plume rise*. Kepulan dipengaruhi oleh turbulensi akibat tinggi cerobong dan bangunan di sekitarnya sehingga efluen akan bercampur secara cepat ke arah bawah. Tinggi efektif cerobong dapat dihitung dengan persamaan

$$H_e = H + dH \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- H_e = Tinggi cerobong efektif (m)
- H = Tinggi cerobong fisik (m)
- dH = Tinggi semburan atau *plume rise* (m)

Berikut adalah persamaan perhitungan yang digunakan untuk memprediksi tinggi *plume rise* (EPA, 1995)

$$Fb = \left(1 - \left(\frac{\rho_s}{\rho} \right) \right) x g x r s^2 x w s \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- Fb = *Flux Bouyancy* (m^4/s^3)
- ρ_s = densitas emisi gas pada stack (kg/m^3)
- ρ = densitas udara sekitar (kg/m^3)
- ws = kecepatan keluar gas dari cerobong (m/s)

Jika densitas udara sekitar tidak diketahui maka dalam menghitung *flux bouyancy* digunakan persamaan

$$Fb = \left(\frac{(T_{pc} - T_u)}{T_{pc}} \right) x g x r s^2 x w s \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

- Fb = *Flux Buoyancy* (m^4/s^3)

Rs = Jari-jari cerobong (m)
 Tpc = suhu emisi gas pada stack (K)
 Tu = suhu udara sekitar (K)
 ws = kecepatan keluar gas dari cerobong (m/s)

Berikut adalah persamaan untuk menghitung nilai (plume rise) (Li, 2008).

$$\Delta h = \frac{1.6 Fb^{\frac{1}{3}}(Xf^{\frac{2}{3}})}{u} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

Fb = *Flux Bouyancy* (m⁴/s³)
 Xf = jarak turbulensi maksimum atmosfer dari *stack* (m)
 U = kecepatan angin pada ketinggian *stack* (m/s)

2.11. Model Prediksi Persebaran Polutan

2.11.1. Model Dispersi

Menurut Ruhiat (2008) dalam Rahmadani (2017), secara umum terdapat empat model kualitas udara yang digunakan, yaitu:

- (1) model empirik atau statistik, model ini digunakan untuk menghubungkan data konsentrasi suatu lingkungan dengan lingkungan lain, misalnya CAR-model, suatu model untuk mengestimasi kepadatan lalu lintas dengan perubahan area;
- (2) model *Gauss* atau plume-model, merupakan model teori dasar penyebaran mengenai distribusi polutan karena turbulensi, model ini dapat digunakan pada skala lokal;
- (3) model Lagrangian, model untuk paket udara sebagai fungsi waktu sepanjang aliran streamlines dalam atmosfer. Model ini digunakan untuk menganalisis emisi polutan pada topografi yang kompleks, sedangkan aliran dan perubahan konsentrasinya dikaji secara *particular*. Jenis model partikel Lagrangian merupakan satu level di atas model puff dan
- (4) model Eulerian, untuk menganalisis konsentrasi satu atau beberapa kotak, pergerakan dari kotak ke kotak dipengaruhi oleh kecepatan angin

Nauli T (2002), menyatakan model dispersi *Gauss* dapat menyatakan secara sederhana penyimpangan partikel di udara

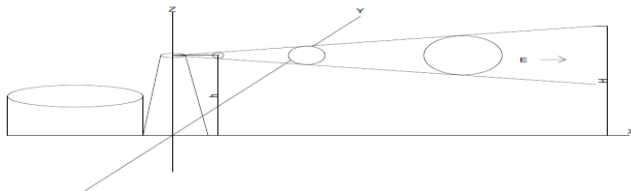
terhadap waktu. Banyaknya polutan yang dikeluarkan secara tetap dari cerobong asap (Q) akan terbawa angin dengan kecepatan u dalam arah horizontal (x) dengan kerapatan massa Q/u .

2.11.2. Aplikasi Model Dalam Analisis Konsentrasi Polutan

Gauss plume model adalah salah satu model matematika yang digunakan untuk mempresentasikan proses dispersi polutan di udara berupa gas seperti NO_x (Assomadi et al., 2016). Persamaan dari model tersebut juga digunakan untuk menentukan konsentrasi polutan hasil dispersi cerobong asap pabrik di lokasi tertentu di sekitar cerobong asap. Pada model ini perilaku polutan mengikuti distribusi normal atau distribusi Gauss. Model Gaussian secara luas digunakan untuk mengestimasi impact polutan non-reaktif dari sumber titik atau garis.

a. Pemodelan sumber tunggal (*Single Point Source*)

Pada model ini faktor lain yang dipertimbangkan yaitu stabilitas atmosfer yang mempengaruhi penyebaran polutan baik secara horizontal searah angin (*downwind*) maupun melintasi arah angin (*crosswind*). Formula dasar fungsi *Gaussian* dapat digunakan secara tepat untuk mengestimasi distribusi polutan dari single source (Visscher, 2014).



Gambar 2. 4 Model Penyebaran Polutan Berdasarkan *Gauss*
Sumber : Beyhock (2005)

b. Pemodelan sumber majemuk (*Multiple Point Source*)

Menurut Macdonald (2003), pemodelan sumber majemuk merupakan akumulasi dari beberapa sumber yang dianggap sebagai satu kesatuan sumber emisi yang dinyatakan dalam emisi per satuan area. Beberapa titik sumber dinyatakan

sebagai *area sources* apabila jarak masing-masing titik kurang dari 100 m serta emisii yang dikeluarkan kurang dari 20% (EPA, 1992).

Jika sumber emisi tidak termasuk kategori *area source*, maka dapat disebut sebagai *multiple point source*. Perhitungan model *multiple point source* dapat dihitung menggunakan perhitungan model *single point source* setelah itu diakumulasikan emisi dari beberapa sumber pada suatu penerima.

2.11.3. Model Dispersi Gauss Termodifikasi Kinetika Reaksi Fotokimia

Menurut Assomadi (2016), model dispersi gauss termodifikasi ini adalah model dispersi pencemar di atmosfer yang terintegrasi dengan *mixing height*, kestabilan atmosfer wilayah, sensitif terhadap perubahan intensitas radiasi, temperatur permukaan, perubahan arah dan kecepatan angin, serta dipengaruhi kinetika reaksi untuk pencemar nonkonservatif.

Konstanta kinetika reaksi pencemar di atmosfer didasarkan pada reaksi fotokimia yang dipengaruhi oleh ketersediaan radiasi matahari dan sisa pencemar di atmosfer (terukur di ambien).

Persamaan model dispersi Gauss termodifikasi sumber titik kontinyu dalam keadaan steady pada (x_1, y_1) dan receptor pada (x, y) dengan arah aliran fluida homogen membentuk sudut α dari sumbu y dapat dituliskan sebagai berikut :

$$C(x, y, z) = \frac{q}{4\pi x' \sqrt{D_y D_z}} \exp\left(\frac{-y'^2 v}{4D_y x'}\right) \left(\exp\left(\frac{-(z-H)^2 v}{4D_z x'}\right) + \exp\left(\frac{-(z-H)^2 v}{4D_z x'}\right) \right) \left(\exp\left(\frac{-\lambda x'}{v}\right) \right) \dots (2.13)$$

$$x' = (x - x_1) \cos \alpha - (y_1 - y) \sin \alpha \dots (2.14)$$

$$y' = (y - y_1) \cos \alpha - (x_1 - x) \sin \alpha \dots (2.15)$$

$$\left(\frac{\lambda x'}{v}\right) = \frac{dC}{dt} = kC^n \dots (2.16)$$

Dengan :

C = Konsentrasi Pada Titik Tertentu (gr/m³)

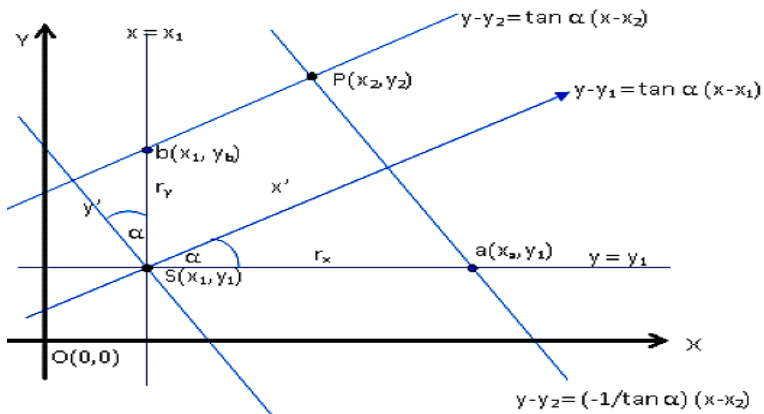
q = Beban emisi (gr/det)

X', y' = Jarak searah angin tertentu (m)
 X, y = Posisi sumber titik
 z = Ketinggian reseptor (m)
 H = Tinggi efektif sumber dari permukaan (m)
 v = Kecepatan angin (m/det)
 λ = Konstanta laju reaksi
 D_z, D_y = Konstanta stabilitas atmosfer (m)
 kC^n = Besar konstanta laju reaksi

(Assomadi, 2016)

2.12. Transformasi Koordinat Kartesius

Transformasi koordinat kartesius dilakukan mengikuti perubahan arah angin. Perhitungan transformasi koordinat didasarkan pada Assomadi (2016). Transformasi koordinat dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 5 Sistem koordinat kartesius dan kedudukan point source (S) dan receiptor (P)

(Sumber : Assomadi, 2016)

Dalam koordinat hasil transformasi ini titik S dinyatakan sebagai $x'=0$ dan $y'=0$, sebagai titik asal sumber sehingga $S(x'=0, y'=0)$ sedangkan semua titik receptor dapat dinyatakan dalam $P(x', y')$. Memasukkan hasil transformasi koordinat ini pada persamaan dispersi, dengan asumsi tidak ada barrier pada arah sumbu x dan y, maka persamaan dispersi pencemar dapat dituliskan menjadi:

$$C(x, y, z) = \frac{q}{4\pi x' \sqrt{D_y D_z}} \exp\left(\frac{-y'^2 v}{4D_y x'}\right) \left(\exp\left(\frac{-(z-H)^2 v}{4D_z x'}\right) + \exp\left(\frac{-(z+H)^2 v}{4D_z x'}\right) \right) \dots\dots (2.17)$$

2.13. Verifikasi Model

Verifikasi model dimaksudkan untuk mengukur seberapa dekat, hasil yang dihitung dengan model terbangun/terverifikasi dengan pengukuran di lapangan. Verifikasi dengan model Gauss memberikan hasil yang dekat pada rentang stabilitas atmosfer tipe A, B, C, dan D dengan korelasi $R = 0,87$ dan simpangan sebesar 8,8 dari data maksimum bernilai 60 (Assomadi, 2016).

Nilai korelasi hasil pemodelan dengan pengukuran data lapangan dapat diketahui dengan rumus :

$$Galat = \left(\frac{C_{lap} - C_{model}}{C_{lap}} \right) \times 100\% \dots (2.18)$$

Dimana C merupakan nilai konsentrasi hasil pemodelan dan data lapangan. Mengubah hasil pengukuran data lapangan (data aktual) menjadi data dalam kondisi normal. Berdasarkan peraturan indonesia dengan rumus berikut :

$$\frac{C1}{C2} = \frac{T2.P1}{T1.P2} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan :

- C1 = konsentrasi emisi aktual (mg/m^3)
- C2 = konsentrasi emisi kondisi normal (mg/Nm^3)
- T2 = Temperatur udara kondisi normal (K)
- T1 = Temperatur udara kondisi aktual (K)
- P1 = Tekanan udara aktual (pascal)
- P2 = Tekanan udara kondisi normal (Pascal)
- = 100.000 pascal

Dimana tekanan udara aktual dihitung dengan rumus :

$$P \text{ aktual} = P \text{ normal} \times e^{0,00012 \times alt} \dots\dots (2.20)$$

2.14. *Tools* Dalam Pemodelan

1. MATLAB

Matlab atau Matrix Laboratory adalah bahasa teknik komputasi tinggi dan dapat mengintegrasikan komputasi numerik, terintegrasi, visualisasi, dan pemrograman. Matlab memiliki berbagai fasilitas untuk menampilkan vektor dan matriks sebagai grafik. Termasuk juga fungsi untuk visualisasi data 2 dan 3 dimensi, pemrosesan gambar, animasi, dan sebagainya. (Mathworks, 2005)

Sistem Matlab terdiri dari 5 bagian, antara lain (Mathworks, 2005) :

1. *Development environment*. Seperangkat alat dan fasilitas untuk menggunakan *file* dan fungsi Matlab.
2. Perpustakaan fungsi matematika. Merupakan kumpulan algoritma komputasi untuk berbagai jenis persamaan.
3. Bahasa Matlab. Merupakan bahasa *matrix/array* tingkat tinggi dengan kontrol aliran *statement*, fungsi, struktur data, input/output, dan fitur pemrograman berorientasi pada objek.
4. Grafik. Merupakan fasilitas untuk menampilkan vektor dan matriks sebagai grafik. Termasuk juga fungsi untuk visualisasi data 2 dan 3 dimensi, pemrosesan gambar, animasi, dan sebagainya.
5. Tampilan antar muka eksternal. Fungsi untuk berinteraksi dengan program lain, antara lain C dan Fortran.

Pada tugas akhir ini, digunakan program Matlab R2013a dengan lisensi ITS (Nomor lisensi 876144, diunduh pada 15 Januari 2018).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Kabupaten Bogor Jawa Barat. Wilayah kajian melingkupi kawasan industri semen serta area di sekitar wilayah industri semen seperti terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Zona Industri Semen PT Holcim Indonesia *Narogong Plant*
Sumber : Google Earth (2017)

Di wilayah industri semen tersebut terdapat beberapa titik sumber emisi yang berada pada posisi yang berbeda. Pada penelitian ini diambil sebanyak tujuh cerobong yang dijadikan sebagai sumber emisi. Yaitu :

- Cerobong Kiln NAR 1 (423-3K1)
- Cerobong Kiln NAR 2 (424-3K1)
- Cerobong Coal Mill NAR 1 (L63-3K1)
- Cerobong Coal Mill NAR 2 (L64-3K1)
- Cerobong Finish Mill NAR 1

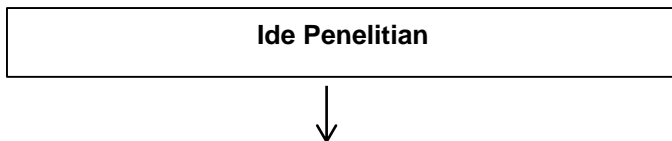
- Cerobong Finish Mill NAR 2
- Cerobong Cooler NAR 2 (474-3K1)

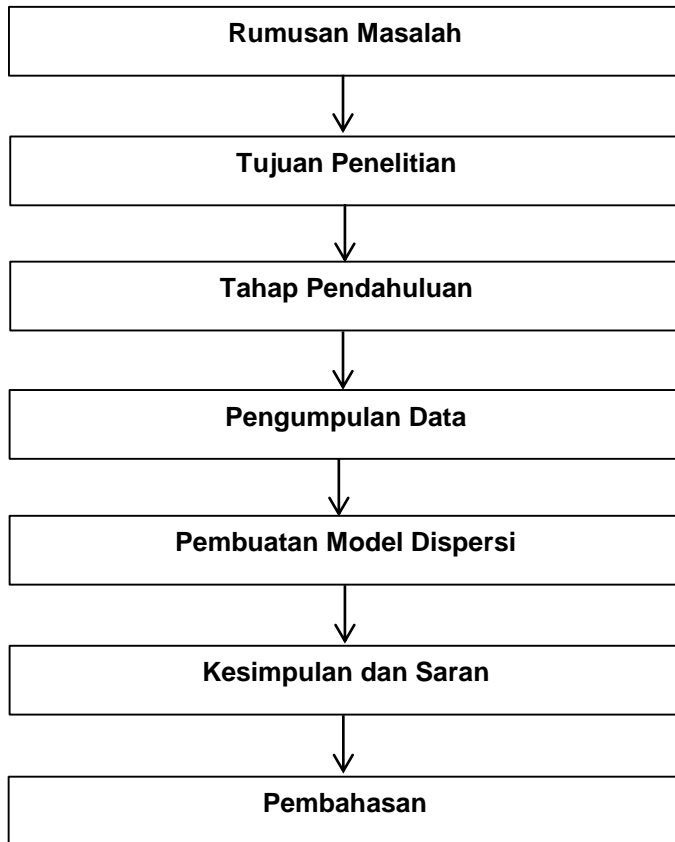


Gambar 3. 2 Lokasi Cerobong di PT Holcim *Narogong Plant*
 Sumber : Dokumen Departement EQS PT Holcim *Narogong Plant*

3.2. Prosedur Penelitian

Proses pendugaan dan analisis dispersi pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap kegiatan. Tahapan tersebut mencakup kegiatan pengumpulan data, pembuatan model prediksi serta aplikasi model pada studi kasus, hingga pemetaan penyebaran pencemar udara di Kabupaten Bogor. Tahapan pengolahan dan analisis data penelitian, selengkapnya disajikan pada Gambar 3.3.





Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian

3.3. Ide Penelitian

Pencemaran udara dapat menyebabkan ketidaknyamanan bagi lingkungan, konsentrasi pencemar yang melebihi standar dapat menyebabkan gangguan kesehatan bagi manusia, hewan serta dapat mengurangi produktivitas tumbuhan. Pesatnya perkembangan industri di wilayah Kabupaten Bogor meningkatkan potensi gas buang sisa kegiatan industri. Gas polutan yang dihasilkan dari kegiatan industri antara lain adalah SO_2 dan NO_x .

Dampak pada lingkungan, gas SO_2 dan NO_x merupakan salah satu polutan penting yang menyebabkan hujan asam. Kawasan tersebut berdekatan dengan lokasi pemukiman penduduk.

Salah satu upaya pemantauan kualitas udara di suatu wilayah karena adanya aktivitas industri dapat dipantau melalui pembuatan model dispersi pencemar. Dengan data dari sumber pencemar dapat diketahui konsentrasi pencemar pada jarak tertentu.

3.4. Tahap Pendahuluan

A. Studi Pustaka

Dalam penelitian ini tinjauan pustaka digunakan sebagai referensi dalam pemetaan model sebaran emisi debu. Referensi didapatkan dari jurnal, text book, dan sumber lainya. Dari refrensi diperoleh sumber informasi yang berkaitan dengan penelitian yang meliputi data sebagai berikut:

1. Gambaran umum wilayah studi
2. Pencemaran udara industri semen
3. Jenis pencemaran udara (gas SO_2 dan gas NO_x)
4. Dampak pencemaran udara terhadap lingkungan
5. Indeks Standar Pencemaran Udara
6. Penyebaran pencemaran udara
7. Faktor yang mempengaruhi penyebaran polutan
8. Faktor reaksi kinetika fotokimia
9. Model Dispersi *Gauss* termodifikasi

B. Perizinan

Perizinan dilakukan dalam pengumpulan data pada instansi pemerintah dan perusahaan terkait data emisi, antara lain :

1. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kelas 1 Dramaga Bogor, untuk kepentingan data meteorologis.
2. PT Holcim Indonesia Tbk Narogong Plant, untuk kepentingan data emisi sumber titik (*stack*), data pengukuran emisi ambien wilayah sekitar pabrik, data profil cerobong.

3.5. Pengumpulan Data

Alat-alat yang digunakan dalam tahap pengumpulan data untuk penelitian ini diantaranya adalah :

1. Microsoft Excel, untuk rekapitulasi data hasil pengukuran CEMS.
2. Matlab, untuk membangun model dispersi pencemar NO_x dan SO_2

Bahan/data yang akan digunakan pada penelitian ini diperoleh dari instansi-instansi terkait (data sekunder). Berikut adalah beberapa jenis data sekunder yang diperlukan.

1. Data meteorologi yang meliputi data kecepatan angin, data arah angin, data suhu udara ambien. Data meteorologi didapatkan BMKG Dramaga Kelas 1 Bogor.
2. Data emisi dari cerobong unit Raw Mill Kiln NAR I, Finish Mill NAR I, Coal Mill NAR I, Raw Mill Kiln NAR II, Finish Mill NAR II, Coal Mill NAR II dan Cooler NAR II.
3. Data kecepatan gas buang pada cerobong unit Raw Mill Kiln NAR I, Finish Mill NAR I, Coal Mill NAR I, Raw Mill Kiln NAR II, Finish Mill NAR II, Coal Mill NAR II dan Cooler NAR II.
4. Data suhu gas buang pada cerobong unit Raw Mill Kiln NAR I, Finish Mill NAR I, Coal Mill NAR I, Raw Mill Kiln NAR II, Finish Mill NAR II, Coal Mill NAR II dan Cooler NAR II.
5. Data profil cerobong unit Raw Mill Kiln NAR I, Finish Mill NAR I, Coal Mill NAR I, Raw Mill Kiln NAR II, Finish Mill NAR II, Coal Mill NAR II dan Cooler NAR II yang meliputi tinggi cerobong dan diameter cerobong.

3.6. Pembuatan Model Dispersi

3.6.1. Model Dispersi Gauss Termodifikasi Kinetika Reaksi Fotokimia

Digunakan model dispersi yang terintegrasi dengan mixing height, kestabilan atmosfer wilayah, sensitif terhadap perubahan intensitas radiasi, temperatur permukaan, perubahan arah dan kecepatan angin, serta dipengaruhi kinetika reaksi untuk pencemar nonkonservatif (Assomadi, 2016).

3.6.2. Perhitungan Dispersi Dengan Model

Pembuatan model pada penelitian ini meliputi penentuan konsentrasi polutan di beberapa titik dan pembuatan peta sebaran polutan. Perhitungan konsentrasi di beberapa titik penerima didasarkan oleh tingkat emisi yang dihasilkan oleh setiap cerobong, selanjutnya nilai konsentrasi pada titik penerima yang sama diakumulasikan. Berikut adalah tahapan mengenai pembuatan model dispersi :

- a. Perhitungan beban emisi yang berasal dari 7 cerobong yang telah diketahui lebar diameter, dan laju lepasan emisinya. Perhitungan beban emisi dihitung berdasarkan data CEMS (*Continous Emission Monitoring System*) pada 3 cerobong yaitu :
 1. Cerobong Kiln Unit NAR1 (423-3K1)
 2. Cerobong Kiln Unit NAR2 (424-3K1)
 3. Cerobong Cooler Unit NAR2 (474-3K1)

Rumus yang digunakan dalam menghitung beban emisi pada 3 cerobong tersebut berdasarkan Permen LH no 19 Tahun 2017 yaitu :

$$E = Cav \times Q \times 0.0036 \times (Op \text{ Hours}) \text{ (kg/hari)} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$Q = Vav \times A \text{ (m}^3/\text{detik)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- | | |
|--------------------|--|
| E | = Laju Emisi Pencemar (kg/hari) |
| Cav | = Konsentrasi terukur rata-rata harian (mg/Nm ³) |
| Q | = Laju alir emisi volumetrik (m ³ /detik) |
| 0,0036 | = Faktor konversi dari mg/detik ke kg/jam |
| $Op \text{ Hours}$ | = Jam operasi pembangkit selama 1 (satu) hari |
| Vav | = Laju alir rata-rata harian (m/detik) |
| A | = Luas penampang cerobong (m ²) |

- b. Menghitung tinggi *plume rise* (Δh) pada masing-masing cerobong. Rumus yang digunakan yaitu :

$$Fb = \left(1 - \left(\frac{\rho_s}{\rho} \right) \right) \times g \times r \times s^2 \times w \times s \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

F_b = *Flux Buoyancy* (m^4/s^3)

ρ_s = densitas emisi gas pada stack (kg/m^3)

ρ_a = densitas udara sekitar (kg/m^3)

w_s = kecepatan keluar gas dari cerobong (m/s)

Jika densitas udara sekitar tidak diketahui maka dalam menghitung *flux buoyancy* digunakan persamaan :

$$F_b = \left(\frac{(T_{pc} - T_u)}{4 \times T_{pc}} \right) \times g \times r \times s^2 \times w_s$$

Keterangan :

F_b = *Flux Buoyancy* (m^4/s^3)

T_{pc} = suhu emisi gas pada stack (K)

T_u = suhu udara sekitar (K)

w_s = kecepatan keluar gas dari cerobong (m/s)

$$\Delta h = \frac{1.6 F_b^{\frac{1}{3}} X^{\frac{2}{3}}}{u} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

F_b = *Flux Bouyancy* (m^4/s^3)

X = jarak turbulensi atmosfer telah mendominasi (m)

U = kecepatan angin pada ketinggian stack (m/s)

Digunakan rumus *flux bouyancy* dikarenakan pergerakan parcel udara diakibatkan adanya perbedaan suhu antara suhu emisi dari stack dan suhu ambien sekitar cerobong.

- c. Melakukan analisis rata-rata kecepatan dan arah angin dengan windrose sebagai inputan model. Rumus yang digunakan dalam menghitung kecepatan angin di plume rise adalah :

$$U_2 = U_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^p \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

U_2 dan U_1 = kecepatan angin pada ketinggian 1 dan 2 (m/s)

Z_1 dan Z_2 = ketinggian 1 dan ketinggian 2 (m)

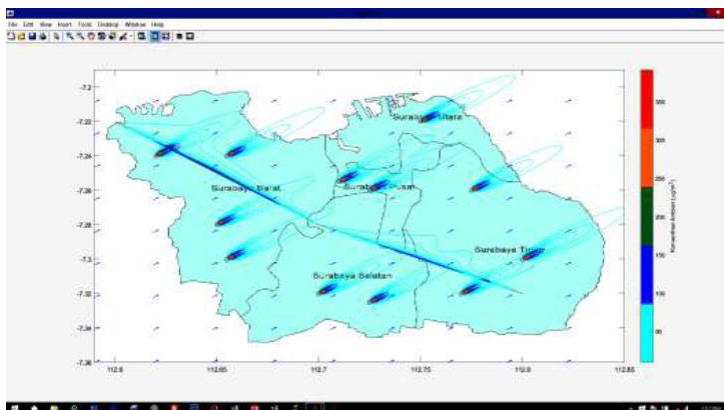
P = fungsi stabilitas atmosfer

- d. Dimana dalam perhitungan konstanta p dianggap 1 dikarenakan dalam rumus Gauss termodifikasi dapat digunakan pada stabilitas atmosfer a hingga d. Konstanta Z_1 pada rumus adalah ketinggian 10 meter alat pemantau BMKG. Konstanta Z_2 pada rumus adalah ketinggian efektif cerobong. Sedangkan menghitung tinggi cerobong efektif (H_e) menggunakan rumus :

$$H_e = H + \Delta H \dots\dots\dots(2.9)$$

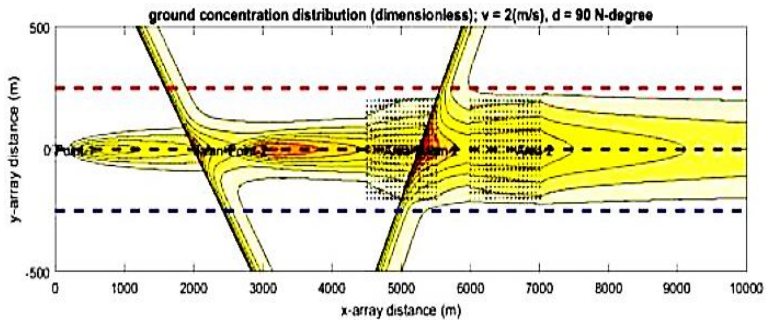
Kecepatan angin pada plume rise akan dihitung pada saat kecepatan angin ambien rata-rata, kecepatan angin maksimal dan kecepatan angin minimal.

- e. Memodelkan hasil pemodelan dispersi dengan data sekunder menggunakan Matlab R2013a. Dibuat script terpisah dari command di MATLAB. Script ini bisa ditulis dalam M-file yang bisa dipanggil dari commad menu. Digunakan peta wilayah lokasi penelitian dengan tanpa legenda dan notasi kecuali batas wilayah. Hasil yang diharapkan pada pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3. 4 Tampilan kontur diapersi pencemar multi source dengan MATLAB R2013a
Sumber : Assomadi, 2016

- f. Overlay pola dispersi pada masing-masing cerobong disesuaikan dengan arah dan kecepatan angin. *Overlay* dilakukan pada perangkat lunak MATLAB. Gambaran hasil *overlay* dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.5



Gambar 3. 5 Hasil *overlay* sumber emisi
Sumber : Assomadi, 2016

- g. Membandingkan dengan data sekunder pengukuran ambien dari monitoring di wilayah sekitar industri. Dengan menggunakan rumus :

$$Galat = \left(\frac{C_{lap} - C_{model}}{C_{lap}} \right) \times 100\% \dots\dots (2.18)$$

3.7. Pemodelan Persebaran Emisi

3.7.1. Memasukkan Gambar Peta Pada Program MATLAB

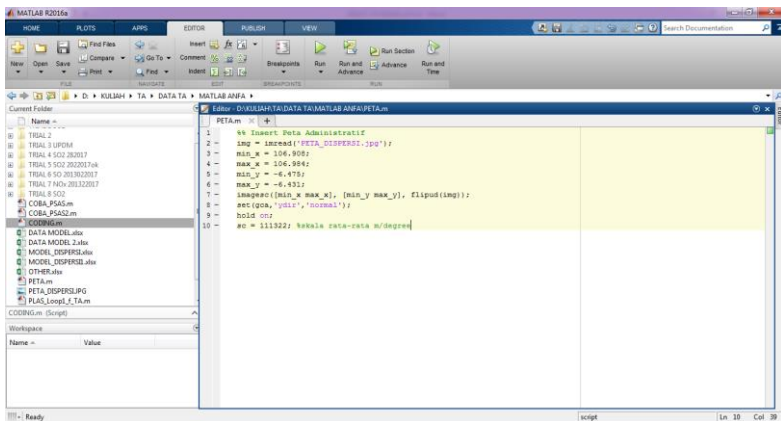
Pada langkah ini diperlukan gambar peta dalam format gambar dan dimasukkan dalam 1 *folder* dengan *script* yang lain. Pada penelitian ini telah disiapkan peta wilayah sekitar pabrik PT Holcim Indonesia dengan nama “PETA_DISPERSI.jpg”. Tampilan peta adalah seperti pada Gambar 3.6



Gambar 3. 6 Peta contoh pada inputan model (PETA_DISPERSI.jpg)
Sumber : Google Earth (2018)

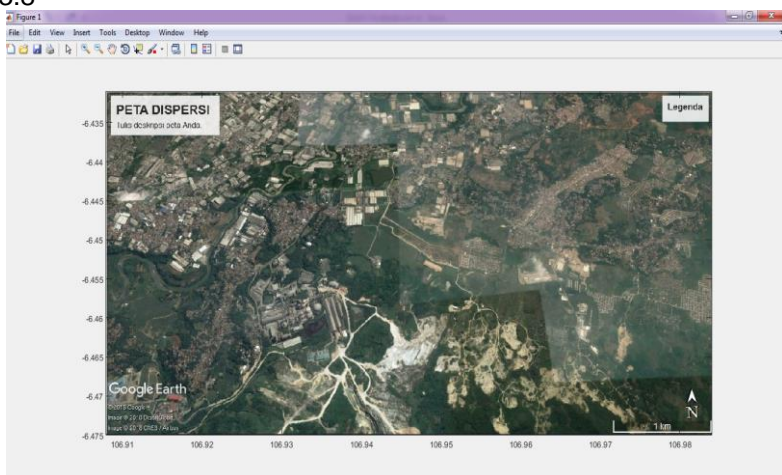
Peta pada Gambar 3.6 di atas telah disesuaikan koordinat geometrinya (geoposisi) sesuai Google Earth 2018 yaitu 6.431 – 6.475 LS dan 106.908 – 106.984 BT. Pada penulisan script LS ditulis pada sumbu y negatif, karena nol pada khatulistiwa, sedangkan BT ditulis tetap. Diperlukan adanya penulisan *script* pada *command window* MATLAB untuk menampilkan peta Gambar 3.7 pada *program* MATLAB. *Script* yang ditulis adalah sebagai berikut :

```
% Insert Peta Administratif
img = imread('PETA_DISPERSI.jpg');
min_x = 106.908;
max_x = 106.984;
min_y = -6.475;
max_y = -6.431;
imagesc([min_x max_x], [min_y max_y],
flipud(img));
set(gca,'ydir','normal');
hold on;
sc = 111322; %skala rata-rata m/degree
```



Gambar 3. 7 Penulisan *script* pada *command window* MATLAB

Setelah *script* selesai ditulis, selanjutnya akan di *running*. *Script* yang dapat berjalan dengan baik akan dapat menampilkan hasil *running* pada MATLAB seperti pada Gambar 3.8



Gambar 3. 8 Gambar peta yang telah berhasil disesuaikan pada MATLAB

Sumber : Hasil MATLAB

3.7.2. Membuat *Script* Awal Pemodelan Dispersi

Pada pemodelan ini semua parameter yang akan digunakan harus dibuat *script* sebelum dijalankan pada MATLAB. Ada beberapa tahap dalam pembuatan script agar semua parameter pemodelan dapat dijalankan. Beberapa tahapan tersebut diantaranya adalah :

Pertama, identifikasi data teknis seperti tinggi cerobong, data ambien, data posisi cerobong dan data kinetika. Data kinetika digunakan untuk pemodelan gas NO_x. Semua data tersebut dipastikan jelas dalam penulisan pada *script*. Hal ini ditujukan agar memudahkan dalam menjalankan model pada program MATLAB. *Script* dapat ditulis sebagai berikut :

```
%% Konstanta Difusivitas
Dify = 100; Difz = 200;

% difusivitas horizontal dan vertical (m2/s)
Dy = Dify; Dz = Difz;           % difusifitas
dalam m

%% 1. Points Sources
%% 1.1. Data beban emisi (g/s)
Q = 90 ;           %input beban (g/s)

%% 1.2. Data teknis stack
stack = 120 ; % input tinggi efektif stack (m)
receptor = 1.5; % tinggi receptor dalam m
%posisi stack
xs = 106.9335 ; % input koordinat x stack
ys = -6.4591; % input koordinat y stack

%Efektif plume dalam deg
z = receptor; % tinggi receptor m

%% Resolusi (GRID)
[x,y] = meshgrid
(linspace(min_x,max_x,grid),linspace(min_y,max_y
,grid));
```



```

cP = zeros(size(x));
e = ones(size(x));

%% Konversi angin ke gradient geometri
aa = (90-a)*pi/180;           % a = arah angin
ke ... dengan acuan utara (N = 0) searah jarum
jam

```

Kedua, membuat *script* transformasi koordinat kartesius sesuai dengan perubahan arah angin. *Script* transformasi ini untuk merubah variabel bidang/ruang menjadi variabel yang sesuai dengan sifat persamaan model yang akan digambarkan (Assomadi, 2016). Penulisan *script* adalah sebagai berikut :

```

%% 1.3. jarak x dan y dari sumber searah angin
xx = ((x - xs(i))*cos(aa) - (ys(i) - y)*sin(aa))*sc; % jarak x dalam m
yy = ((y - ys(i))*cos(aa) + (xs(i) - x)*sin(aa))*sc; % jarak y dalam m

v = s;           % kec angin pada 10 m m/s

```

Ketiga, membuat *script* model dispersi sesuai dengan persamaan yang akan dihasilkan. MATLAB adalah sebuah *program* yang mengolah model dengan matriks sehingga *script* merupakan diskritisasi model pada setiap grid (titik koordinat) (Assomadi, 2016). *Script* untuk pemodelan dispersi sumber majemuk adalah sebagai berikut :

```

c1 = ((39.2-
3.25*v).*(v^2)./((xx>0).*xx)).*(1000000*Q(i)*e./
(2*4*pi*(xx>0).*xx*sqrt(Dy*Dz))).*exp(-
v*yy.*yy./(4*Dy*(xx>0).*xx)).*...
(exp(-v*(z-H)).*(z-
H)*e./(4*Dz*(xx>0).*xx))+exp(-
v*(z+H)).*(z+H)*e./(4*Dz*(xx>0).*xx)).*...
exp(-lambda*(xx>0).*xx/v);
c1(isinf(c1))=0;
cP = cP + c1;

```

```
cP(isnan(cP))==0;
```

Persamaan $((39.2 - 3.25 \cdot v) \cdot (v^2) ./ ((xx > 0) \cdot xx))$ pada rumus pemodelan adalah sebagai faktor kalibrasi (Assomadi, 2016). Sedangkan angka 1000000 pada *script* diatas digunakan sebagai konversi satuan gram (g) menjadi mikrogram (μg). Sehingga pada hasil akhir konsentrasi yang dihasilkan memiliki satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Keempat adalah membuat plot kontur atau surface pola dispersi pada bidang x-y, mengatur tampilan, mengatur nilai konsentrasi, warna dan sebagainya. *Script* yang dituliskan adalah sebagai berikut :

```
%% Plot Pola Dispersi
conts=10:10:150;
ch =contour(x,y,c,conts,'Fill','on');
clabel(ch,[]);
map = [0,0,0
       0.122,0,0
       0.25,0,0
       0.375,0,0
       0.5,0,0
       0.625,0,0
       0.75,0,0
       0.875,0,0
       1,0,0
       1,0.125,0.125
       1,0.25,0.25
       1,0.375,0.375
       1,0.5,0.5
       1,0.625,0.625
       1,0.75,0.75];
colormap(flipud(map)); c = colorbar;
c.Label.String = 'Konsentrasi Ambien
(\mu\text{g}/\text{m}^3)';

%% Plot Posisi Stack
plot(xs,ys,'ok');
```

```

%% Plot Angin vektor
[x,y] = meshgrid
(linspace(min_x,max_x,10),linspace(min_y,max_y,1
0));
vel = v*0.00000907;
u = vel*cos((90-a)*pi/180)*ones(size(x));
w = vel*sin((90-a)*pi/180)*ones(size(y));
wind_speed = sqrt(u.^2 + w.^2 );
quiver(x,y,u,w,0.1,'b');
axis([min_x max_x min_y max_y]);
clc

```

Kelima adalah memasukan koordinat titik penerima atau titik sampling ambien di sekitar pabrik pada *script*. Pada penelitian kali ini akan dimasukan 10 titik sampling ambien. Sembilan titik merupakan lokasi pengukuran emisi ambien rutin setiap 3 bulan sekali oleh PT Holcim Indonesia Tbk, *Narogong Plant*. Sedangkan titik pantau lain adalah pengukuran oleh dinas lingkungan hidup (DLH) Kabupaten Bogor. *Script* yang digunakan adalah sebagai berikut :

```

%% Titik Sampling Ambient
xT10 = 106.93139; yT10 = -6.45499;
xT9 = 106.9541; yT9 = -6.452503;
xT8 = 106.9231; yT8 = -6.47236;
xT7 = 106.9407; yT7 = -6.4628;
xT6 = 106.9353; yT6 = -6.4717;
xT5 = 106.9356; yT5 = -6.4506;
xT4 = 106.9281; yT4 = -6.4714;
xT3 = 106.9275; yT3 = -6.4565;
xT2 = 106.9439; yT2 = -6.4467;
xT1 = 106.93435; yT1 = -6.4479;

I10=c(round(grid*(yT10-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT10-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D10 = Dt10;

```

```

I9=c(round(grid*(yT9-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT9-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D9 = Dt9;
I8=c(round(grid*(yT8-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT8-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D8 = Dt8;
I7=c(round(grid*(yT7-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT7-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D7 = Dt7;
I6=c(round(grid*(yT6-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT6-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D6 = Dt6;
I5=c(round(grid*(yT5-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT5-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D5 = Dt5;
I4=c(round(grid*(yT4-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT4-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D4 = Dt4;
I3=c(round(grid*(yT3-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT3-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D3 = Dt3;
I2=c(round(grid*(yT2-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT2-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D2 = Dt2;
I1=c(round(grid*(yT1-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT1-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D1 = Dt1;

```

Keenam adalah memasukan *script* plot untuk masing-masing titik pengukuran ambien. Hal ini ditujukan agar titik pantau dapat muncul pada peta saat *script* dijalankan pada *program* MATLAB. *Script* yang digunakan adalah sebagai berikut :

```

% title and ambient point Plot
title(['Grid = ',num2str(grid),'; Date ',t, '
WIB; wind velocity ', num2str(s), ' (m/s), ', '
direction to ', num2str(a), ' (degree from
north), and kinetic constant (\lambda) = ',
num2str(lambda),' (\mug/s)'];...

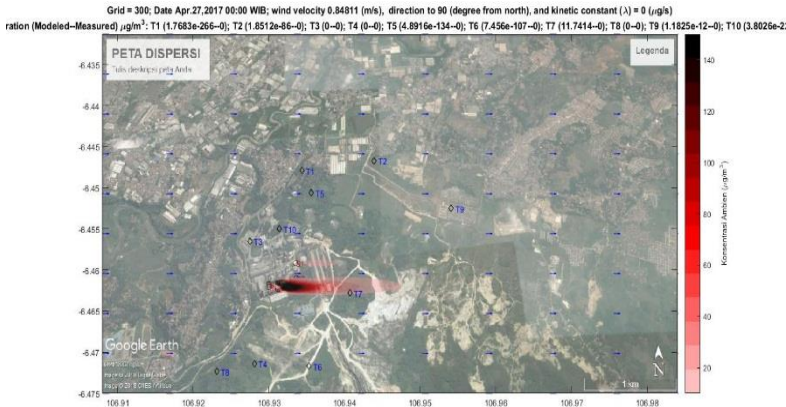
```

```

        ['Concentration (Modeled--Measured)
\mug/m^3: T1 (' ,num2str(I1),'--',num2str(D1),' ');
T2 (' ,num2str(I2),'--',num2str(D2),' '); T3
(' ,num2str(I3),'--',num2str(D3),' '); T4
(' ,num2str(I4),'--',num2str(D4),' '); T5
(' ,num2str(I5),'--',num2str(D5),' '); T6
(' ,num2str(I6),'--',num2str(D6),' '); T7
(' ,num2str(I7),'--',num2str(D7),' '); T8
(' ,num2str(I8),'--',num2str(D8),' '); T9
(' ,num2str(I9),'--',num2str(D9),' '); T10
(' ,num2str(I10),'--',num2str(D10),' ')]});
plot(xT10,yT10,'dk');text(xT10, yT10,'
T10','color','b');
plot(xT9,yT9,'dk');text(xT9, yT9,'
T9','color','b');
plot(xT8,yT8,'dk');text(xT8, yT8,'
T8','color','b');
plot(xT7,yT7,'dk');text(xT7, yT7,'
T7','color','b');
plot(xT6,yT6,'dk');text(xT6, yT6,'
T6','color','b');
plot(xT5,yT5,'dk');text(xT5, yT5,'
T5','color','b');
plot(xT4,yT4,'dk');text(xT4, yT4,'
T4','color','b');
plot(xT3,yT3,'dk');text(xT3, yT3,'
T3','color','b');
plot(xT2,yT2,'dk');text(xT2, yT2,'
T2','color','b');
plot(xT1,yT1,'dk');text(xT1, yT1,'
T1','color','b')
clc

```

Script diatas kemudian disimpan dalam format M-file. Untuk menjalankan *script*, yaitu dengan memanggil *script* pada *command window*. Pada penelitian kali ini file disimpan dengan nama PSLS_Loop2_promosi.m. File kemudian dijalankan dengan memanggil pada *command window*. Hasil yang akan ditampilkan oleh script seperti pada Gambar 3.9



Gambar 3. 9 Tampilan kontur dispersi pencemar sumber majemuk
 Sumber : Hasil Analisis MATLAB

3.7.3. Membuat *Script Loop* Pemodelan Pada Program MATLAB

Pemodelan dispersi pada *program* MATLAB akan dijalankan dengan *timeseries*. Sehingga diperlukan adanya *script* baru yang dapat menjalankan model sesuai waktu yang diinginkan. Tahapan pembuatan *script* yang akan digunakan dalam *timeseries* adalah sebagai berikut :

Pertama, menentukan grid yang akan digunakan dan membuat *script loop* dengan file yang sebelumnya. *Script* yang digunakan yaitu :

```
clear;
grid = 300;           % resolusi perhitungan (membagi
area perhitungan menjadi n x n grid), 18562 s
T1 = xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','B4:B243');
T2 = xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','C4:C243');
T3 = xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','D4:D243');
T4 = xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','E4:E243');
T5 = xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','F4:F243');
T6 = xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','G4:G243');
T7 = xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','H4:H243');
```

```
T8 = xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','I4:I243');
T9 = xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','J4:J243');
T10 = xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','K4:K243');
```

Pada penelitian kali ini digunakan grid = 300. Hal ini berdasarkan penelitian terdahulu, menyatakan bahwa grid 300 cukup memberikan degradasi pola dispersi untuk menunjukkan adanya sumber-sumber yang spesifik. Semakin besar grid hasil dispersi ini semakin baik dan jelas membedakan perubahan konsentrasi dengan perubahan posisi (Assomadi,2016).

Kedua, membuat *loop script* untuk parameter yang akan dibaca pada *file excel* dan *script* sebelumnya telah dibuat dapat dianalisis. *Script* ini digunakan agar data dapat dianalisis pada *loop timeseries script*. Hasil analisis script secara otomatis akan tertulis pada *sheet excel* UPDM_V11.xlsx yang sudah disediakan sebelumnya. *Script loop timeseries* adalah sebagai berikut :

```
arah=xlsread('UPDM_V11.xlsx','Phys_Data','AD4:AD243');
speed =
xlsread('UPDM_V11.xlsx','Phys_Data','AC4:AC243');
fc = xlsread('UPDM_V11.xlsx','Phys_Data','AI4:AI243');
lbd =
0.000002*xlsread('UPDM_V11.xlsx','Phys_Data','AJ4:AJ243');
DateNumber = 736802; formatOut = 'mmm.dd,yyyy HH:MM';
time = datestr(DateNumber,formatOut);% 1 Jan 2010 =
734139, 2 Jan 2010 = 734140, 1 Agust 2011 = 734716, 1
Mar 2012 = 734929

%% dispersi
for n=1:length(arah);
    Dt1 = T1(n);Dt2 = T2(n);Dt3 = T3(n);Dt4 =
T4(n);Dt5 = T5(n);Dt6 = T6(n);Dt7 = T7(n);Dt8 =
T8(n);Dt9 = T9(n);Dt10 = T10(n);
    Factor = fc(n); lambda = lbd(n);
    a=arah(n); s=speed(n); t =
datestr(DateNumber+(n)*0.04166666667,formatOut);cla;
    PSLs_Loop2_promosi;
    drawnow
    MOD = [I1 I2 I3 I4 I5 I6 I7 I8 I9 I10];
    my_cell = sprintf('B%s',num2str(n+3));
```

```
A=xlswrite('UPDM_V11.xlsx',MOD,'Result_Model',my_cell)
;
end
```

Ketiga, membuat script untuk hasil pemodelan dalam rentang tiap jam pada satu periode pemodelan. Hal ini dikarenakan data yang terbaca pada CEMS adalah data pengukuran emisi per jam. *Script* yang dibuat adalah sebagai berikut :

```
%% Analysis
MOD1=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','B4:B243');
MOD2=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','C4:C243');
MOD3=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','D4:D243');
MOD4=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','E4:E243');
MOD5=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','F4:F243');
MOD6=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','G4:G243');
MOD7=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','H4:H243');
MOD8=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','I4:I243');
MOD9=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','J4:J243');
MOD10=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','K4:K243');

t = 1:240;      % range max - range min + 1

ts1 = timeseries(T1,1+t);ts11 = timeseries(MOD1,1+t);
ts2 = timeseries(T2,1+t);ts21 = timeseries(MOD2,1+t);
ts3 = timeseries(T3,1+t);ts31 = timeseries(MOD3,1+t);
ts4 = timeseries(T4,1+t);ts41 = timeseries(MOD4,1+t);
ts5 = timeseries(T5,1+t);ts51 = timeseries(MOD5,1+t);
ts6 = timeseries(T6,1+t);ts61 = timeseries(MOD6,1+t);
ts7 = timeseries(T7,1+t);ts71 = timeseries(MOD7,1+t);
ts8 = timeseries(T8,1+t);ts81 = timeseries(MOD8,1+t);
ts9 = timeseries(T9,1+t);ts91 = timeseries(MOD9,1+t);
ts10 = timeseries(T10,1+t);ts101 =
timeseries(MOD10,1+t);
```

Script diatas kemudian disimpan dalam format M-file. Untuk menjalankan *script*, yaitu dengan memanggil *script* pada *command window*. Pada penelitian kali ini file disimpan dengan nama `tf_PSLs_Loop2_promosi.m`. File kemudian dijalankan dengan memanggil pada *command window*.

3.7.4. Membuat *Script Overlay* Pemodelan Pada Program MATLAB

Pada penelitian ini akan dilakukan overlay terhadap hasil running pemodelan yang memiliki hasil terburuk. Sehingga dapat diketahui wilayah yang mendapat paparan terbesar dari emisi sumber. Dilakukan pembuatan script overlay hasil pemodelan sebagai berikut

```
clc;      % Clear the command window.
close all; % Close all figures (except those of
imtool.)
clear;    % Erase all existing variables. Or clearvars
if you want.
workspace; % Make sure the workspace panel is
showing.
format long g;
format compact;
fontSize = 20;

% Open Folder Selection
folder = 'D:\KULIAH\TA\DATA TA\MATLAB
ANFA\overlaySO2K2\fix'; % Specify some particular
folder.
if folder == 0
    % Clicked cancel. Exit program.
    return;
end

% Make sure exist folder
if ~isdir(folder)
    errorMessage = sprintf('Error: The following
folder does not exist:\n%s', folder);
    uiwait(warndlg(errorMessage));
    return;
else
    fprintf('Averaging images in the following
folder:\n      %s', folder);
end
imageFiles = dir(fullfile(folder, '*.jpg'));

% Now do the averaging in a loop
numberOfImages = length(imageFiles);
```

```

theyreColorImages = false;
for k = 1 : numberOfImages
    fullFileName = fullfile(folder,
imageFiles(k).name);
    fprintf('About to read %s\n', fullFileName);
    thisImage=imread(fullFileName);
    [thisRows, thisColumns, thisNumberOfColorChannels]
= size(thisImage);
    if k == 1
        % Save the first image.
        sumImage = double(thisImage);
        % Save its dimensions so we can match later
images' sizes to this first one.
        rows1 = thisRows;
        columns1 = thisColumns;
        numberOfColorChannels1 =
thisNumberOfColorChannels;
        theyreColorImages = numberOfColorChannels1 >=
3;

% Compute and display the final image:
sumImage = uint8(sumImage / numberOfImages);
cla;
imshow(sumImage, []);
caption = sprintf('Overlay of %d Images',
numberOfImages);
title(caption, 'FontSize', fontSize);

```

Overlay hasil pemodelan dilakukan pada setiap parameter polutan (SO₂ dan NO₂) dan musim (kemarau dan hujan)

3.8. Analisis dan Pembahasan

Pembahasan dilakukan berdasarkan analisis data hasil perhitungan konsentrasi dan peta kontur wilayah proyek. Perhitungan konsentrai polutan dilakukan pada waktu yang berbeda yakni musim hujan dan musim kemarau. Sehingga didapatkan hasil pemodelan dengan nilai konsenrasi sebaran polutan yang berbeda-beda pada kondisi tersebut sesuai dengan faktor-faktor yang berpengaruh.

Setelah diketahui nilai sebaran polutan pada titik-titik penerima pada dua kondisi waktu yang berbeda, selanjutnya dibahas mengenai pengaruh faktor-faktor cuaca pada kondisi

waktu yang berbeda (musim hujan dan musim hujan) terhadap pola persebaran polutan.

3.9. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diperoleh dari ringkasan pembahasan yang telah dijabarkan. Kesimpulan dari penelitian berupa nilai konsentrasi sebaran polutan berupa gas SO_2 dan gas NO_x hasil penelitian menggunakan model *Gauss* termodifikasi kinetika fotokimia pada musim kemarau dan hujan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Sumber Emisi

4.1.1. Data Teknis Cerobong

Emisi dari PT Holcim Indonesia, Narogong Plant berasal dari unit pengolahan yang berjumlah tujuh cerobong dengan karakteristik yang berbeda-beda. Profil masing-masing cerobong dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Inventarisasi Emisi Unit Pengolahan

Nama Sumber Emisi	¹⁾Kapasitas Sumber Emisi/hari	²⁾Alat Pegendali Emisi	²⁾Tinggi (m)	²⁾Diameter (m)
NAR 1				
Stack EP Kiln Raw Mill	4600 ton clinker	Electrostatic Precipitator	66	4,5
Stack Coal Mill	794 ton batubara	Bag Filter	45,5	1,2
Stack Finish Mill	2160 ton semen	Bag Filter	10	1,49
NAR 2				
Stack EP Kiln Raw Mill	4600 ton clinker	Electrostatic Precipitator	100,95	5,7
Stack Coal Mill	794 ton batubara	Bag Filter	52,66	1,8
Stack Finish Mill	2160 ton semen	Bag Filter	44,5	0,6
Stack Cooler	7800 ton clinker	Electrostatic Precipitator	38,4	3,6

Sumber : 1) Dewi,N.W. 2016

2) PT Holcim Indonesia Tbk. 2018

Pada cerobong pembakaran di setiap unit pengolahan yaitu *Stack Kiln Raw Mill NAR 1* dan *Stack Kiln Raw Mill NAR 2* dipasang CEM (*Continuous Emission Monitoring*). Pada penelitian ini akan dianalisis semua *stack* dengan 4 *stack* lainnya digunakan pendekatan melalui kapasitas produksi masing-masing *stack*. Koordinat geografis dari masing-masing cerobong dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Koordinat Geografis Cerobong

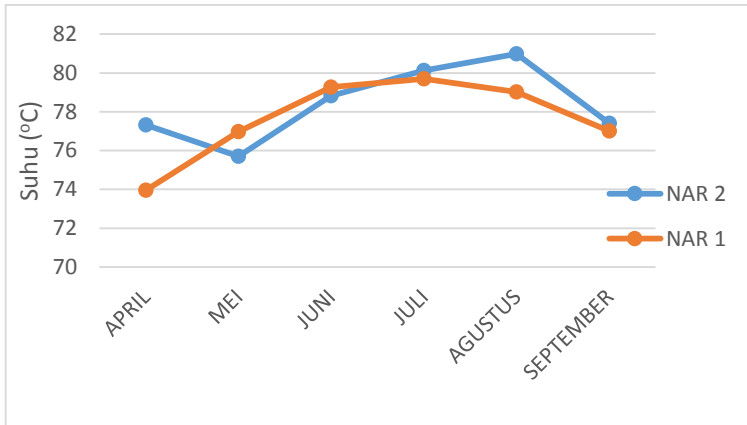
Nama Sumber Emisi	Koordinat -X	Koordinat -Y
Stack EP Kiln Raw Mill NAR 1	-6,45914	106,9335
Stack Coal Mill NAR 1	-6,46175	106,93
Stack Finish Mill NAR 1	-6,461569	106,931
Stack EP Kiln Raw Mill NAR 2	-6,461	106,9336
Stack Cooler NAR 2	-6,46210833	106,9313
Stack Coal Mill NAR 2	-6,462052	106,93
Stack Finish Mill NAR 2	-6,462325	106,9312

Sumber : PT Holcim Indonesia Tbk. 2018

4.1.2. Suhu Cerobong

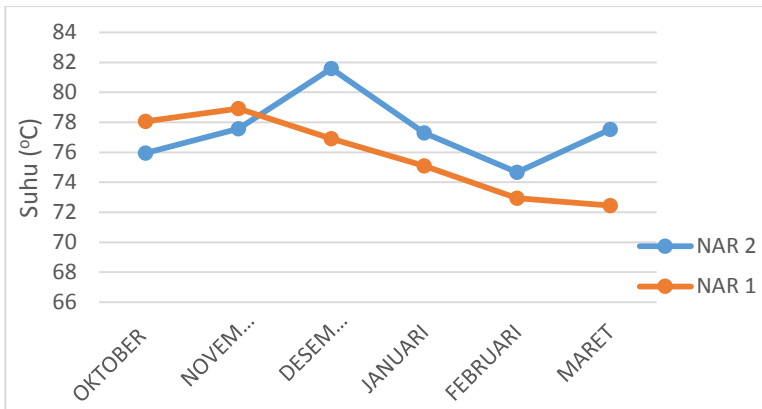
Selisih antara suhu ambien dan suhu pada cerobong akan mempengaruhi nilai *flux bouyancy* cerobong. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap tinggi plume rise yang akan terbentuk. Sehingga akan dianalisis perbedaan fluktuasi suhu cerobong pada musim hujan dan musim kemarau.

Data perubahan suhu cerobong diperoleh dari alat CEM untuk *Stack Kiln Raw Mill NAR 1* dan *Stack Kiln Raw Mill NAR2*. Sementara itu, suhu pada cerobong lain diasumsikan dengan menggunakan rata-rata dari 2 cerobong pembakaran utama. Berdasarkan hasil perhitungan suhu rata-rata *Stack Kiln Raw Mill NAR 1* dan *Stack Kiln Raw Mill NAR2* pada musim kemarau adalah 78,39°C dan 77,65°C. Pada musim hujan suhu rata-rata *Stack Kiln Raw Mill NAR 1* dan *Stack Kiln Raw Mill NAR2* adalah 77,43°C dan 75,7°C. Grafik fluktuasi suhu *Stack Kiln Raw Mill NAR 1* dan *Stack Kiln Raw Mill NAR2* pada musim hujan dan musim kemarau dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2



Gambar 4. 1 Grafik Fluktuasi Suhu *Stack* Musim Kemarau
Sumber : PT Holcim Indonesia, Tbk (2018)

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa fluktuasi suhu pada kedua cerobong memiliki pola yang tidak berbeda. Sehingga dapat diprediksi bahwa tinggi plume rise yang akan terbentuk tidak berbeda secara signifikan.



Gambar 4. 2 Grafik Fluktuasi Suhu *Stack* Musim Hujan
Sumber : PT Holcim Indonesia, Tbk (2018)

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa fluktuasi suhu pada kedua cerobong memiliki pola yang berbeda. Suhu pada NAR 2 memiliki kecenderungan naik dan lebih tinggi dibandingkan pada NAR 1. Semakin tinggi suhu pada cerobong maka akan menyebabkan besarnya selisih nilai Sehingga dapat diprediksi bahwa tinggi plume rise pada NAR 2 akan lebih tinggi dari NAR 1.

4.2. Analisis Data Meteorologis

Analisi data meteorologi dalam penelitian ini dibutuhkan karena faktor meteorologi (arah dan kecepatan angin, suhu ambien, radiasi penyinaran matahari) dapat mempengaruhi pola dispersi polutan (Ramayana, K *et.al.*, 2013)

Data meteorologi yang digunakan dalam pemodelan ini didapatkan dari stasiun meteorologi lokal dari PT Holcim Indonesia yaitu stasiun muara quarry dan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Dramaga Bogor. Data yang digunakan adalah data meteorologi rata-rata pada musim penghujan dan musim kemarau pada tahun 2017. Data meteorologi yang telah didapatkan berupa kecepatan dan arah angin, radiasi sinar matahari harian, dan curah hujan.

Data curah hujan digunakan untuk menentukan periode musim kemarau dan musim penghujan. Data radiasi sinar matahari digunakan sebagai faktor reaksi fotokimia pada dispersi polutan NO_x. Data arah dan kecepatan angin digunakan dalam menentukan lokasi penerima dispersi polutan sumber.

4.2.1. Penentuan Musim Hujan dan Musim Kemarau

Penentuan musim hujan dan musim kemarau pada penelitian ini didasarkan pada tingkat curah hujan setiap bulan di tahun 2016 dan 2017.

Berdasarkan data curah hujan dari BMKG Dramaga Bogor pada tahun 2017 periode musim hujan berkisar antara bulan Oktober-Maret sedangkan periode musim kemarau berkisar antara bulan April-September. Data curah hujan untuk wilayah Klapanunggal dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Data Curah Hujan Tahun 2016 dan 2017

Bulan	Tahun	
	2016	2017
	mm	
Januari	363	216
Februari	502	659
Maret	301	510
April	442	325
Mei	366	347
Juni	222	340
Juli	338	472
Agustus	163	119
September	137	343
Oktober	417	387
November	518	413
Desember	309	209

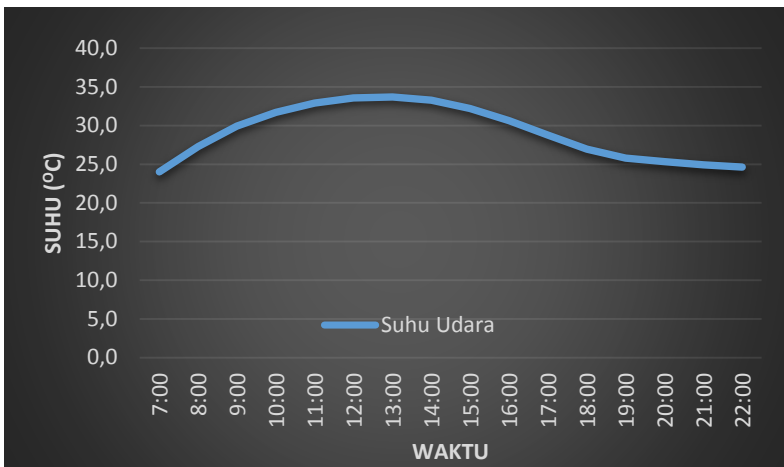
Sumber : BMKG Dramaga Bogor, 2018

Data pada Tabel 4.3 sesuai dengan data pada buku Prakiraan Musim Hujan dan Musim Kemarau tahun 2017/2018 yang dikeluarkan oleh BMKG Pusat. Sehingga pada penelitian kali ini musim hujan pada daerah penelitian digunakan pada rentang periode bulan Oktober-Maret. Sedangkan musim kemarau digunakan rentang bulan April-September.

Adanya perbedaan tingkat curah hujan pada musim hujan dan musim kemarau akan berpengaruh terhadap konsentrasi polutan di udara ambien. Secara umum, durasi dan intensitas curah hujan akan berpengaruh terhadap pengurangan konsentrasi polutan di udara (Suhyang, K *et al.*, 2014). Berdasarkan penelitian terdahulu didapatkan hasil bahwa peningkatan intensitas curah hujan dapat mereduksi konsentrasi polutan gas NO₂ dan SO₂ di wilayah Seoul, Korea (Yoo *et al.*, 2014)

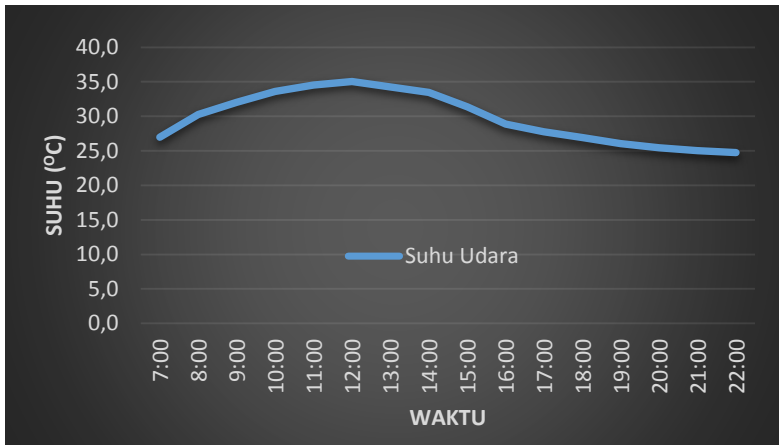
4.2.2. Suhu Udara Ambien

Perbedaan variasi suhu pada wilayah penelitian akan mempengaruhi konsentrasi dan pola dispersi polutan. Berdasarkan hasil pengukuran dari stasiun muara lokal PT Holcim Indonesia pada periode 2017 suhu terukur 29,4°C, suhu maksimum 32,7°C, suhu minimum 27,4°C. Pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dapat dilihat pola diurnal perubahan suhu harian pada rentang musim hujan dan rentang musim kemarau di wilayah penelitian (Klapanunggal-Narogong)



Gambar 4. 3 Pola Diurnal Suhu Musim Hujan Tahun 2017
Sumber : PT Holcim Indonesia Tbk, (2018)

Berdasarkan Gambar 4.3 Grafik suhu diurnal memiliki suhu tertinggi 33,7°C pada pukul 12.00 dan suhu terendah 24°C pada pukul 7.00. Berdasarkan Gambar 4.4 Grafik suhu diurnal memiliki suhu tertinggi 35,1°C pada pukul 12.00 dan suhu terendah 25°C pada pukul 7.00. Sehingga dapat diketahui bahwa suhu udara pada musim kemarau lebih tinggi dibandingkan suhu pada musim hujan pada wilayah PT Holcim Indonesia-*Narogong Plant*.

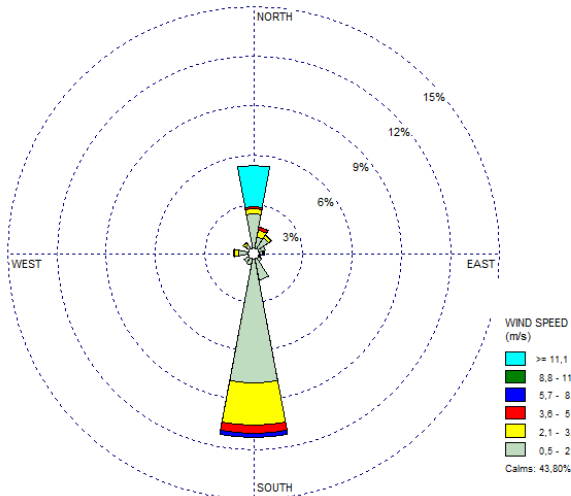


Gambar 4. 4 Pola Diurnal Suhu Musim Kemarau Tahun 2017
Sumber : PT Holcim Indonesia, Tbk (2018)

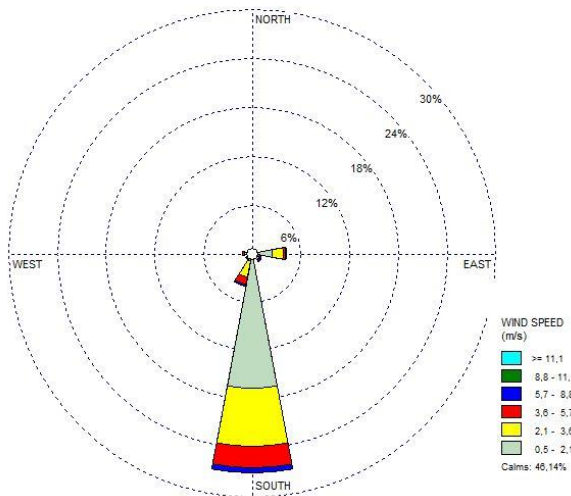
Adanya perbedaan suhu ambien pada musim hujan dan musim kemarau akan mempengaruhi terhadap tinggi plume rise yang terbentuk pada sumber emisi dan konsentrasi dispersi polutan. Suhu rendah pada musim hujan menyebabkan penurunan *mixing height* karena penurunan *vertical mixing* pada atmosfer. Polutan SO_2 dan NO_x akan terdeposisi bersama hujan, sehingga konsentrasi akan menurun (Jayamurugan, R *et al.*, 2013)

4.2.3. Arah dan Kecepatan Angin

Arah angin ikut menentukan ke arah mana polutan menyebar, dan kecepatan angin ikut menentukan sampai sejauh berapa polutan disebarkan (Ramadhani, 2017). Kecepatan angin dan arah angin dominan disekitar pabrik dibedakan menjadi dua, yaitu pada musim hujan (Oktober-Maret) dan musim kemarau (April-September) dengan distribusi yang dianalisis dan dibuat peta mawar angin (windrose) dengan *software* WRPLOT, selengkapnya ditampilkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



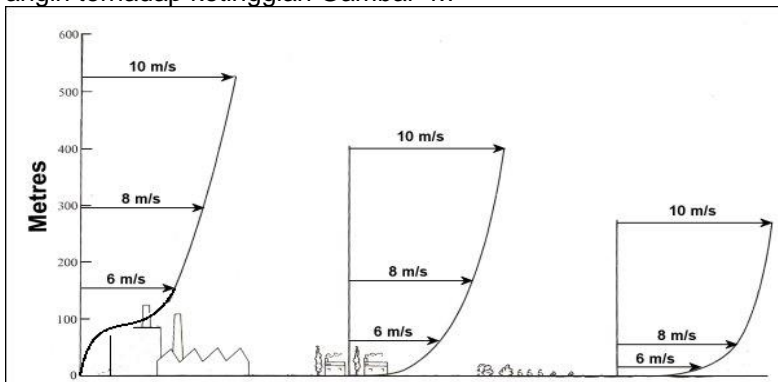
Gambar 4. 5 Kecepatan dan arah angin musim kemarau (April-September)



Gambar 4. 6 Kecepatan dan arah angin musim hujan (Oktober-Maret)
Sumber : Hasil Analisa WRPLOT

Berdasarkan hasil analisis mawar angin pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 untuk wilayah pabrik menunjukkan pola yang bervariasi antara periode musim kemarau dan musim hujan. Secara umum, pada periode musim kemarau umumnya angin bergerak dari utara menuju ke selatan, sedangkan arah angin pada musim hujan umumnya bergerak dari utara ke selatan. Kecepatan angin berkisar antara 0.5 – 2.10 m/s dan 2.10 – 3.50 m/s. Kecepatan angin dominan pada kategori “*calm*” karena pengukuran pada ketinggian sekitar 1.2 m dari permukaan tanah. Dalam pemodelan akan digunakan kecepatan angin pada ketinggian 10 m. Sehingga akan dihitung kecepatan angin pada 10 m berdasarkan data kecepatan angin di ketinggian 1.2 m.

Digunakan kecepatan angin pada ketinggian 10 m karena kecepatan angin akan stabil hingga ketinggian >100 m dari permukaan tanah dan akan terjadi peningkatan pada ketinggian ± 170 m. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik vertikal kecepatan angin terhadap ketinggian Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Profil Vertikal Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian

Sumber : <http://www.wind-power-program.com/windestimates.htm>

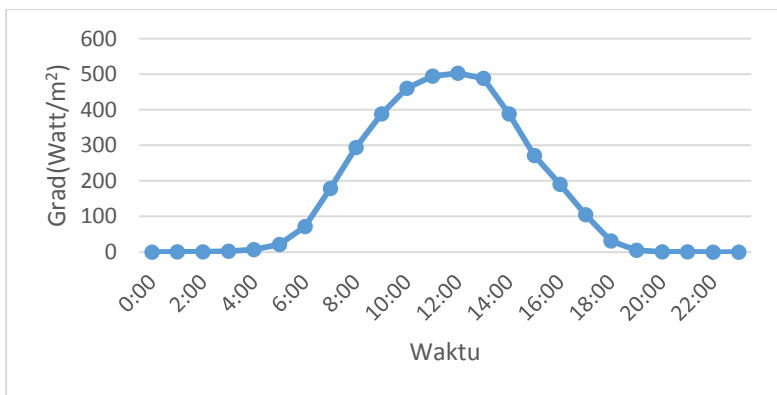
4.2.4. Radiasi Matahari (GRAD)

Radiasi matahari berperan secara langsung dalam peruraian senyawa-senyawa polutan di atmosfer salah satunya terhadap NO₂ (Sumaryati, 2013). NO₂ merupakan pencemar non-konservatif. GRAD dapat menginisiasi reaksi fotokimia antara radikal O dan NO₂ sehingga terbentuk pencemar sekunder O₃.

Dengan demikian untuk menentukan inputan model dispersi emisi NO_2 , maka analisis kinetika reaksi pencemar di atmosfer dilakukan terhadap hubungan NO_2 , O_3 , dan GRAD.

Data GRAD harian periode tahun 2016-2017 diperoleh dari BMKG Dramaga, Bogor. Pola diurnal GRAD untuk wilayah lokal sekitar pabrik diperoleh dari penelitian terdahulu tahun 2016. Pola diurnal tersebut digunakan sebagai pendekatan untuk penentuan GRAD tiap jam pada penelitian ini. Pola diurnal GRAD masuk wilayah lokal PT Holcim Indonesia, Tbk *Narogong Plant*, dapat dilihat pada Gambar 4.8

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat diketahui bahwa intensitas matahari terbesar terjadi pada pukul 12.00. Pola diurnal harian ini akan berpengaruh terhadap waktu reaksi NO_2 dan O_3 . Berdasarkan penelitian terdahulu waktu reaksi NO_2 dan O_3 dapat dibedakan menjadi 4 waktu. Waktu pertama (3:00-7:00), konsentrasi NO_x akan meningkat karena NO akan bereaksi dengan O_3 tanpa adanya inisiasi dari GRAD, menghasilkan banyak NO_2 dan menurunkan konsentrasi O_3 . Selama waktu kedua (7:00-15:00) terjadi peningkatan intensitas GRAD dan reaksi fotokimia yang menghasilkan O_3 akan mendominasi.

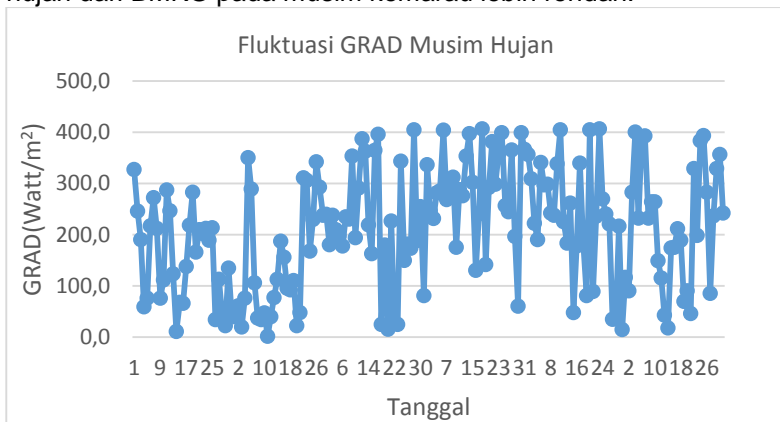


Gambar 4. 8 Pola Diurnal GRAD PT Holcim Indonesia Tbk Narogong
Sumber : (Dewi, 2017)

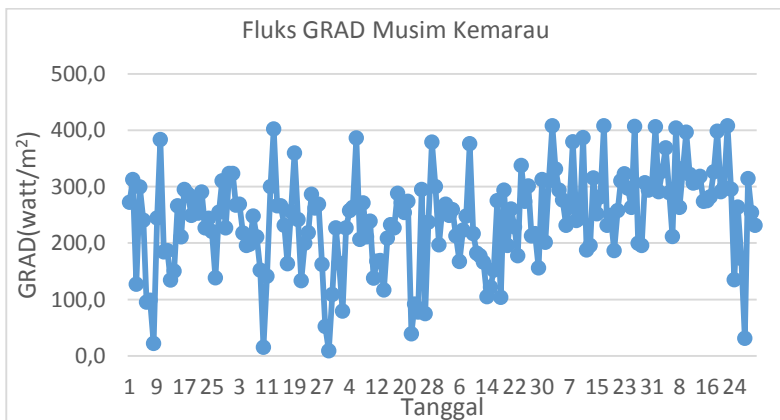
Waktu ketiga (15:00-20:00), konsentrasi O_3 akan menurun, sebaliknya konsentrasi NO_2 akan naik. Pada waktu keempat

(20:00-3:00), akan dicapai keseimbangan konsentrasi NO_x dan O_3 karena tidak adanya GRAD (Song, *et al.*, 2011).

Pola intensitas GRAD rata-rata harian dalam 1 tahun pada periode tahun 2017 akan dibedakan berdasarkan musim hujan dan musim kemarau, berdasarkan data dari BMKG Dramaga Bogor dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10. Berdasarkan Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa fluks GRAD tertinggi terjadi pada musim kemarau. Hal ini disebabkan data intensitas curah hujan dari BMKG pada musim kemarau lebih rendah.



Gambar 4. 9 Fluks intensitas GRAD pada musim hujan tahun 2017



Gambar 4. 10 Fluks intensitas GRAD pada musim kemarau tahun 2017

4.3. Karakteristik Emisi

4.3.1. Konsentrasi Emisi Pada Udara Ambien di Sekitar Wilayah Penelitian

Pengukuran udara ambien oleh PT Holcim Indonesia Tbk, Narogong, Bogor dilakukan sebanyak empat kali dalam satu tahun. Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengukuran udara ambien pada Quartal 1 (20 Februari – 1 Maret 2017), Quartal 2 (17 April – 26 April 2017), Quartal 3 (31 Juli – 9 Agustus 2017) dan Quartal 4 (30 Oktober – 9 Nopember 2017).

Dalam penelitian ini akan digunakan simbol pada masing-masing titik lokasi pengambilan data lapangan. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pembacaan hasil pemodelan. Simbol yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Simbol Pada Titik Pemantauan Udara Ambien Lapangan.

Lokasi	Simbol
Kandang Sapi	T9
Pasir Kemuning	T4
Balai Desa Nambo	T3
Lap.Klapanunggal	T2
Lap.SKSD	T1
Depan Mess No 23	T5
Pasir Asem Timur	T7
Crusher Tangkil	T8
Quarry Tangkil	T6
Depan PT Holcim Indonesia	T10

Tabel 4. 5 Hasil pengukuran kualitas udara ambien di sekitar kawasan PT Holcim Indonesia Tbk, Narogong, Bogor

Lokasi	Konsentrasi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	SO ₂	NO ₂
Quartal 1		
T9	22	10
T4	41	21
T3	32	20
T2	36	16
T1	30	18
T5	27	11
T7	39	19
T8	52	17
T6	53	23
Quartal 2		
T9	23	12
T4	41	27
T3	38	22
T2	42	15
T1	29	16
T5	22	14
T7	33	24
T8	47	21
T6	39	25
Quartal 3		
T9	18	10
T4	35	20
T3	38	26
T2	40	14

Lokasi	Konsentrasi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	SO ₂	NO ₂
T1	25	12
T5	16	9
T7	27	18
T8	47	28
T6	39	25
Quartal 4		
T9	20	12
T4	36	26
T3	32	22
T2	34	18
T1	28	15
T5	18	10
T7	29	19
T8	40	23
T6	35	21

Sumber : PT Holcim Indonesia Tbk (2018)

Pengukuran data lapangan pada masing-masing parameter didasarkan pada standar nasional SNI. Untuk parameter SO₂ didasarkan pada SNI 19-7119.7-2005 tentang cara uji kadar sulfur dioksida (SO₂) udara ambien dengan metoda pararosanilin menggunakan spektrofotometer. Sedangkan untuk parameter NO_x didasarkan pada SNI 19-7119.2-2005 tentang cara uji kadar nitrogen dioksida (NO₂) dengan metoda Griess Saltzman menggunakan spektrofotometer.

Berdasarkan SNI diatas. Hasil pada pengukuran data ambien lapangan merupakan konsentrasi rata-rata selama 24 jam. Dengan perhitungan berdasarkan SNI pada masing-masing parameter adalah sebagai berikut :

1. Sulfur Dioksida (SO₂)

$$C = \frac{a}{V} \times 1000 \times \frac{50}{5}$$

Dimana :

- C = konsentrasi SO₂ di udara (µg/Nm³)
a = jumlah SO₂ dari contoh uji dengan melihat kurva kalibrasi (µg)
V = volume udara pada kondisi normal (L)
50 = jumlah total laturan penjerap yang dipakai untuk pengambilan contoh uji 24 jam
5 = volume yang dipipet untuk dianalisis dengan spektrofotometer

2. Nitrogen Dioksida (NO₂)

$$C = \frac{b}{V} \times 1000 \times \frac{10}{25}$$

Dimana :

- C = konsentrasi NO₂ di udara (µg/Nm³)
b = jumlah NO₂ dari contoh uji dengan melihat kurva kalibrasi (µg)
V = volume udara pada kondisi normal (L)
10/25 = jumlah total laturan penjerap yang dipakai untuk pengambilan contoh uji 24 jam
1000 = konversi dari liter ke m³

4.3.2. Pemilihan Data Verifikasi Model

Data yang digunakan dalam penelitian kali ini akan dipilih. Data yang dalam analisis menunjukkan simpangan yang besar, atau bernilai sangat kecil atau nol, atau bernilai sangat besar (ekstrim) menunjukkan data tidak konsisten atau karena kejadian tidak normal, data-data seperti ini tidak digunakan dalam penelitian. Data-data tersebut disorting dan dinyatakan outlayer.

Kondisi penyebab terjadinya simpangan yang besar terjadi pada saat kondisi *stack down* dan *stack maintenance*. Pada kondisi tersebut, data tidak akan digunakan.

4.3.3. Perhitungan Faktor Pengali Beban Emisi Harian

A. Faktor Harian (F_h)

Faktor harian (F_h). Faktor ini ditentukan berdasar perubahan beban emisi pada sumber tiap 1 jam dalam sehari. Menurut Assomadi (2016), perhitungan faktor harian menggunakan data rata-rata volume trafik (VT_{rt}) yang menjadi pembagi untuk volume trafik waktu tertentu (VT_t) dan ditetapkan dengan nilai faktor = 1. Perhitungan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$F_h = \left(\frac{VT_t}{VT_{rt}} \right) \times 1$$

Pada penelitian ini akan digunakan asumsi data rata-rata beban emisi untuk VT_{rt} dan VT_t sebagai beban emisi waktu tertentu. Contoh perhitungan adalah sebagai berikut :

Diketahui :

Stack Raw Mill NAR 2 pada tanggal 20 Februari 2017

$VT_t = 21,8$ g/s

$VT_{rt} = 18,3$ g/s

$$F_h = \left(\frac{VT_t}{VT_{rt}} \right) \times 1 = \left(\frac{21,8}{18,3} \right) \times 1$$

$F_h = 1,191$

Hasil perhitungan lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Faktor Emisi Harian

Jam	Beban Emisi (VT_t) (g/s)	Faktor Harian
0	21,8	1,191
1	23,2	1,269
2	20,4	1,111
3	18,8	1,027
4	20,3	1,107
5	18,6	1,017
6	21,1	1,150

7	18,9	1,032
8	22,9	1,249
9	24,7	1,347
10	22,5	1,231
11	19,4	1,056
12	20,2	1,101
13	18,6	1,017
14	17,1	0,934
15	20,0	1,092
16	17,0	0,930
17	12,9	0,705
18	12,5	0,684
19	12,3	0,674
20	12,1	0,660
21	12,0	0,655
22	17,4	0,952
23	14,8	0,810
VT_{rt}	18,3	

Sumber : Hasil Perhitungan

B. Faktor Mingguan (*F_m*)

Menurut Assomadi (2016), secara prinsip penentuan faktor mingguan ini sama dengan penentuan faktor harian, dengan kisaran waktu yang diperpanjang menjadira-rata volume trafik harian dalam seminggu. Dengan rumus perhitungan sebagai berikut :

$$F_m = \left(\frac{VT_{th}}{VT_{rtm}} \right) \times 1$$

Contoh perhitungan pada periode Kuartal 1 adalah sebagai berikut :
Diketahui :

Stack Raw Mill NAR 2

$$VT_{th} = 18,32$$

$$VT_{rtm} = 14,36$$

$$Fm = \left(\frac{VT_{th}}{VT_{rtm}} \right) \times 1 = \left(\frac{18,32}{14,36} \right) \times 1 = 1,28$$

Hasil perhitungan lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Faktor Emisi Mingguan

Tanggal	Beban Emisi (VT _{th}) (g/s)	Faktor Mingguan (F _m)
20/02/2017	18,32	1,28
21/02/2017	14,77	1,03
22/02/2017	13,42	0,93
23/02/2017	19,88	1,38
24/02/2017	9,78	0,68
25/02/2017	8,95	0,62
26/02/2017	9,56	0,67
27/02/2017	12,63	0,88
28/02/2017	22,32	1,55
01/03/2017	13,94	0,97
VT_{rtm}	14,36	

Sumber : Hasil Perhitungan

C. Faktor Total (F_t)

Menurut Assomadi (2016), faktor total diperoleh dari hasil perkalian faktor harian (F_h) dan faktor mingguan (F_m). Dengan demikian nilai F dihitung:

$$FT = Fh \times Fm$$

Contoh hasil perhitungan nilai faktor total pada tanggal 20 Februari 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Faktor Total Emisi

Jam	Beban Emisi (g/s)	Faktor Harian (Fh)	Faktor Mingguan (Fm)	Faktor Total (Ft)
0	21,8	1,191	1,28	1,52
1	23,2	1,269	1,28	1,62
2	20,4	1,111	1,28	1,42
3	18,8	1,027	1,28	1,31
4	20,3	1,107	1,28	1,41
5	18,6	1,017	1,28	1,30
6	21,1	1,150	1,28	1,47
7	18,9	1,032	1,28	1,32
8	22,9	1,249	1,28	1,59
9	24,7	1,347	1,28	1,72
10	22,5	1,231	1,28	1,57
11	19,4	1,056	1,28	1,35
12	20,2	1,101	1,28	1,40
13	18,6	1,017	1,28	1,30
14	17,1	0,934	1,28	1,19
15	20,0	1,092	1,28	1,39
16	17,0	0,930	1,28	1,19
17	12,9	0,705	1,28	0,90
18	12,5	0,684	1,28	0,87
19	12,3	0,674	1,28	0,86
20	12,1	0,660	1,28	0,84
21	12,0	0,655	1,28	0,84
22	17,4	0,952	1,28	1,21
23	14,8	0,810	1,28	1,03

Sumber : Hasil Perhitungan

4.4. Perhitungan Data Model

4.4.1. Perhitungan Kecepatan Angin Pada 10 m

Dispersi polutan pada udara ambien dipengaruhi oleh ketinggian lapisan inversi yang membatasi ruang *mixing height* (MH). Kecepatan angin dan radiasi matahari mengakibatkan terjadinya turbulensi mekanis dan mempengaruhi kestabilan atmosfer serta ketinggian lapisan inversi (Khan, S., 2000). Ketinggian minimum pengukuran MH dengan *ceilometer* adalah 10 m, dimana pada ketinggian tersebut dapat mengestimasi ketinggian minimum MH hingga 20 m (Eresmaa *et al.*, 2012). Kecepatan angin pada ketinggian 10 m di atas permukaan tanah berpengaruh terhadap ketinggian MH (Assomadi., 2016). Sehingga ada perhitungan dispersi pemodelan akan digunakan kecepatan angin diketinggian 10 m.

Rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan angin pada ketinggian 10 m yaitu :

$$U_2 = U_1 \operatorname{Ln} \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^p$$

Keterangan :

- U_2 = kecepatan angin pada 10 m (m/s)
- U_1 = kecepatan angin pada anemometer (m/s)
- Z_1 = ketinggian anemometer (m)
- Z_2 = ketinggian 10 m (m)
- P = fungsi stabilitas atmosfer = 1

Fungsi stabilitas atmosfer diasumsikan 1 karena secara umum sudah terwakili dalam persamaan model Gauss Termodifikasi, dalam koefisien difusi (D_y dan D_z) dan koreksi kecepatan yang masuk dalam aplikasi koefisien difusi (Assomadi, 2016).

4.4.2. Perhitungan Kecepatan Angin Di Ujung Cerobong

Kecepatan angin pada ketinggian cerobong berpengaruh terhadap tinggi rendahnya *plume rise*. Rumus yang digunakan yaitu :

$$U_2 = U_1 \operatorname{Ln} \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^p$$

Keterangan :

- U_2 = kecepatan angin pada cerobong (m/s)
- U_1 = kecepatan angin pada anemometer (m/s)
- Z_1 = ketinggian anemometer (m)
- Z_2 = ketinggian cerobong (m)
- P = fungsi stabilitas atmosfer = 1

Pada perhitungan pemodelan fungsi stabilitas atmosfer diasumsikan 1 karena secara umum sudah terwakili dalam persamaan model *Gauss* Termodifikasi, dalam koefisien difusi (D_y dan D_z) dan koreksi kecepatan yang masuk dalam aplikasi koefisien difusi (Assomadi,2016). Berikut adalah contoh perhitungan kecepatan angin pada ujung cerobong.

Diketahui :

Kiln Raw Mill NAR 2

Kecepatan angin pada anemometer = 1,6 m/s

Ketinggian anemometer = 1,2 m

Ketinggian cerobong = 100,95 m

Fungsi stabilitas atmosfer = 1

$$U_2 = U_1 \ln \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^p$$

$$U_2 = 1,6 \ln \left(\frac{100,95}{1,2} \right)^1$$

$$U_2 = 7,1 \text{ m/s}$$

4.4.3. Perhitungan *Flux Bouyancy*

Bouyancy merupakan pemuaian gas karena perbedaan temperatur sedangkan momentum terjadi karena perbedaan kecepatan gas yang tinggi ketika keluar dari cerobong (Visscher, 2014).

Rumus yang digunakan untuk menghitung *Flux Bouyancy* yaitu :

$$Fb = \left(\frac{(T_{pc} - T_u)}{T_{pc}} \right) \rho g x r s^2 x w s \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

Fb = *Flux Buoyancy* (m^4/s^3)

T_{pc} = suhu emisi gas pada stack (K)

T_u = suhu udara sekitar (K)

ws = kecepatan keluar gas dari cerobong (m/s)

Setelah diperoleh nilai Fb maka dihitung nilai Xf . Xf adalah jarak maksimal dalam sumbu X searah arah angin *plume rise* dengan rumus

$$Xf = 3,5 \times 14 Fb^{\frac{5}{8}} \text{ jika } Fb < 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

$$Xf = 3,5 \times 34 Fb^{\frac{5}{8}} \text{ jika } Fb \geq 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

Berikut adalah contoh perhitungan *flux bouyancy* cerobong.

Diketahui :

Kiln Raw Mill NAR 2

Suhu emisi gas pada stack = 349,2 K

Suhu udara sekitar = 297 K

Kecepatan keluar gas dari cerobong = 8,2 m/s

$$Fb = \left(\frac{(T_{pc} - T_u)}{T_{pc}} \right) x g x r s^2 x w s$$

$$Fb = \left(\frac{(349,2 - 297)}{349,2} \right) x 9,8 x 5,7 x 5,7 x 0,25 x 8,2$$

$$Fb = 61,1 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

Selanjutnya dihitung Xf

$$Xf = 3,5 \times 34 Fb^{\frac{5}{8}}$$

$$Xf = 3,5 \times 34 x 61,1^{\frac{5}{8}}$$

$$Xf = 176,1 \text{ m}$$

4.4.4. Perhitungan *Plume Rise*

Plume rise pada cerobong dipengaruhi oleh *Bouyancy*. Berikut adalah persamaan untuk menghitung nilai (*plume rise*) (Li, 2008).

$$\Delta h = \frac{1.6 Fb^{\frac{1}{3}} (Xf^{\frac{2}{3}})}{u} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

Fb = *Flux Bouyancy* (m⁴/s³)

Xf = jarak turbulensi maksimum atmosfer dari *stack* (m)

U = kecepatan angin pada ketinggian *stack* (m/s)

Berikut adalah contoh perhitungan *plume rise* cerobong.

Diketahui :

Kiln Raw Mill NAR 2

Flux Bouyancy (Fb) = 61,1 m⁴/s³

Xf = 176,1 m

kecepatan angin *stack* = 7,1 m/s

$$\Delta h = \frac{1.6 F b^{\frac{1}{3}} (X f^{\frac{2}{3}})}{u}$$

$$\Delta h = \frac{1.6 61,1^{\frac{1}{3}} (176,1^{\frac{2}{3}})}{7,1}$$

$$\Delta h = 64,3 \text{ m}$$

Hasil perhitungan *plume rise* untuk tiap cerobong pada musim hujan dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan *Plume Rise* Musim Hujan Unit NAR 1

Cerobong	NAR 1		
	EP Kiln Raw Mill	Coal Mill	Finish Mill
Stack diameter (m)	4,5	1,2	1,49
Flue gas exit velocity (m/s)	7,4	16,872	19,02
Temperature of flue gas (K)	346,1	347,65	347,65
Ambient Temperature (K)	297	297	297
Flux bouyancy (m ⁴ /s ³)	52,1	122,0	137,5
Anemometer height (Z1)	1,2	1,2	1,2
Stack height (Z2)	66	45,5	10
Wind Speed at Z1 (m/s)	1,6	1,6	1,6

Wind Speet at Z2 (m/s)	6,4	5,8	3,4
Xf (m)	579,6	812,9	852,8
Plume rise (m)	64,78	118,81	218,89

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat diketahui nilai plume rise dari tiap cerobong NAR 2 berbeda karena dipengaruhi oleh faktor suhu gas buang, kecepatan lepasan gas buang. Tinggi plume rise akan semakin tinggi jika nilai kecepatan lepasan gas buang dan selisih suhu gas dan suhu udara ambien tinggi.

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan *Plume Rise* Musim Hujan Unit NAR 2

Cerobong	NAR 2			
	EP Kiln Raw Mill	Cooler	Coal Mill	Finish Mill
Stack diameter (m)	5,7	3,6	1,8	0,6
Flue gas exit velocity (m/s)	7,3	18,69	15,55	23,14
Temperature of flue gas (K)	349,2	347,65	347,65	347,65
Ambient Temperature (K)	297	297	297	297
Flux bouyancy (m^4/s^3)	54,1	135,1	112,4	167,3
Anemometer height (Z1)	1,2	1,2	1,2	1,2
Stack height (Z2)	100,95	38,4	52,66	44,5
Wind Speed at Z1 (m/s)	1,6	1,6	1,6	1,6
Wind Speet at Z2 (m/s)	7,1	5,5	6,1	5,8
Xf (m)	593,8	846,8	786,8	922,4
Plume rise (m)	60,30	132,51	108,76	144,50

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat diketahui nilai plume rise dari tiap cerobong NAR 2 berbeda karena dipengaruhi oleh faktor suhu

gas buang, kecepatan lepasan gas buang. Tinggi plume rise akan semakin tinggi jika nilai kecepatan lepasan gas buang dan selisih suhu gas dan suhu udara ambien tinggi.

Ketinggian plume rise pada musim hujan akan dibandingkan dengan ketinggian plume rise pada musim kemarau. Hasil perhitungan plume rise pada musim kemarau dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan *Plume Rise* Musim Kemarau Unit NAR 1

Cerobong	NAR 1		
	EP Kiln Raw Mill	Coal Mill	Finish Mill
Stack diameter (m)	4,5	1,2	1,49
Flue gas exit velocity (m/s)	7,9	18,012	20,30
Temperature of flue gas (K)	347,98	346,83	346,83
Ambient Temperature (K)	299,7	299,7	299,7
Flux bouyancy (m^4/s^3)	54,4	121,4	136,9
Anemometer height (Z1)	1,2	1,2	1,2
Stack height (Z2)	66	45,5	10
Wind Speed at Z1 (m/s)	1,139	1,139	1,139
Wind Speet at Z2 (m/s)	4,6	4,1	2,4
Xf (m)	595,4	811,5	851,3
Plume rise (m)	94,00	166,47	306,69

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat diketahui nilai plume rise dari tiap cerobong NAR 1 lebih tinggi dibandingkan pada musim hujan. Hal ini dikarenakan selisih suhu gas dan suhu udara ambien lebih tinggi. Suhu udara ambien pada musim kemarau lebih tinggi dibandingkan dengan suhu udara ambien pada musim hujan.

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan *Plume Rise* Musim Kemarau Unit NAR 2

Cerobong	NAR 2			
	EP Kiln Raw Mill	Cooler	Coal Mill	Finish Mill
Stack diameter (m)	5,7	3,6	1,8	0,6
Flue gas exit velocity (m/s)	8,2	20,99	17,47	25,99
Temperature of flue gas (K)	345,68	346,83	346,83	346,83
Ambient Temperature (K)	299,7	299,7	299,7	299,7
Flux bouyancy (m^4/s^3)	54,1	141,5	117,8	175,2
Anemometer height (Z1)	1,2	1,2	1,2	1,2
Stack height (Z2)	100,95	38,4	52,66	44,5
Wind Speed at Z1 (m/s)	1,139	1,139	1,139	1,139
Wind Speet at Z2 (m/s)	5,0	3,9	4,3	4,1
Xf (m)	593,6	862,7	801,6	939,7
Plume rise (m)	84,67	191,42	157,11	208,73

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.11 dapat diketahui nilai plume rise dari tiap cerobong NAR 2 lebih tinggi dibandingkan pada musim hujan. Hal ini dikarenakan selisih suhu gas dan suhu udara ambien lebih tinggi. Suhu udara ambien pada musim kemarau lebih tinggi dibandingkan dengan suhu udara ambien pada musim hujan.

4.4.5. Perhitungan Beban Emisi

Rumus yang digunakan dalam menghitung beban emisi pada cerobong didasarkan pada Permen LH no 19 Tahun 2017 yaitu :

$$E = Cav \times Q \times 0.0036 \times (Op \text{ Hours}) \text{ (kg/hari)}$$

$$Q = Vav \times A \text{ (m}^3/\text{detik)}$$

Dimana :

E	= Laju Emisi Pencemar (kg/hari)
Cav	= Konsentrasi terukur rata-rata harian (mg/Nm ³)
Q	= Laju alir emisi volumetrik (m ³ /detik)
0,0036	= Faktor konversi dari mg/detik ke kg/jam
Op Hours	= Jam operasi pembangkit selama 1 (satu) hari
Vav	= Laju alir rata-rata harian (m/detik)
A	= Luas penampang cerobong (m ²)

Pada penelitian ini akan dihitung beban emisi pada semua *stack* dengan 4 *stack* lainnya digunakan pendekatan melalui kapasitas produksi masing-masing *stack*. *Stack* yang terpasang alat CEMS seperti *Stack Kiln Raw Mill* NAR 1 dan *Stack Kiln Raw Mill* NAR2. Data suhu dan konsentrasi emisi didapatkan dari alat *CEMS* yang terpasang.

4.4.5.1. Perhitungan Beban Emisi NO_x

NO₂ merupakan salah satu komponen dari NO_x, yaitu gas yang paling beracun di atmosfer karena larutan NO₂ dapat menembus ke dalam saluran pernafasan yang lebih dalam, yaitu membran mukosa dan jaringan paru serta dapat masuk ke aliran darah (Tugaswati 2004).

Beban emisi NO₂ pada semua cerobong dihitung dalam rentang tiap 1 jam setiap hari. Hal ini didasarkan kepada pembacaan data *CEMS*. Rumus yang digunakan dalam menghitung beban emisi NO_x yaitu :

$$E = Cav \times Q \times 0.0036 \times (Op\ Hours) \text{ (kg/hari)}$$

$$Q = Vav \times A \text{ (m}^3\text{/detik)}$$

Berikut adalah contoh perhitungan beban emisi NO_x pada cerobong.

Diketahui :

Kiln Raw Mill NAR 2

$Cav\ NO_x$ = 451,1 mg/Nm³

Q = 203,2 m³/detik

Op Hours = 24 jam

$$E = Cav \times Q \times 0.0036 \times (Op\ Hours)$$

$$E = 386,2 \times 203,2 \times 0.0036 \times 24$$

$$E = 7919.7 \text{ kg/hari} = 91.66 \text{ g/s}$$

4.4.5.2. Perhitungan Beban Emisi SO₂

Beban emisi SO₂ pada semua cerobong dihitung dalam rentang tiap 1 jam setiap hari. Hal ini didasarkan kepada pembacaan data CEMS. Rumus yang digunakan dalam menghitung beban emisi SO₂ yaitu :

$$E = Cav \times Q \times 0.0036 \times (Op\ Hours) \text{ (kg/hari)}$$

$$Q = Vav \times A \text{ (m}^3\text{/detik)}$$

Berikut adalah contoh perhitungan beban emisi SO₂ pada cerobong.

Diketahui :

Kiln Raw Mill NAR 2

$$Cav\ SO_2 = 169,8 \text{ mg/Nm}^3$$

$$Q = 203,2 \text{ m}^3\text{/detik}$$

$$Op\ Hours = 24 \text{ jam}$$

$$E = Cav \times Q \times 0.0036 \times (Op\ Hours)$$

$$E = 169,8 \times 203,2 \times 0.0036 \times 24$$

$$E = 2981.1 \text{ kg/hari} = 34.5 \text{ g/s}$$

Perhitungan emisi dilakukan pada musim hujan dan musim kemarau di tiap cerobong pengolahan. Hasil perhitungan beban emisi tiap cerobong dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4. 13 Rata-Rata Hasil Perhitungan Beban Emisi Tiap Cerobong Pada Musim Hujan dan Musim Kemarau

Musim Kemarau		Musim Hujan		
NAR 1				
	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂
EP Kiln Raw Mill	10,0	33,0	6,9	45,5
Coal Mill	1,7	5,7	1,2	7,9
Finish Mill	4,3	14,3	3,0	19,7

Musim Kemarau			Musim Hujan	
NAR 2				
	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂
EP Kiln Raw Mill	19,2	125,6	19,8	87,1
Cooler	19,2	125,6	19,8	87,1
Coal Mill	3,0	19,6	3,1	13,6
Finish Mill	12,4	81,1	12,8	56,3

Sumber : Hasil Perhitungan

4.4.6. Faktor Kinetik Emisi NO₂

Gas NO₂ merupakan salah satu pencemar non-konservatif (reaktif). Gas NO₂ sangat sensitif terhadap perubahan intensitas radiasi matahari karena dapat bereaksi membentuk O₃ (ozon) (Assomadi,2016). Sehingga dalam proses dispersi NO₂ akan mengalami kinetika reaksi akibat adanya fluks matahari (GRAD). Konstanta laju reaksi (k) spasifik untuk NO₂ dapat dituliskan :

$$K_{NO2} = \frac{[NO_2][O_3]_t}{hv_t} = \frac{\left(\frac{\mu g}{m^2}\right)^2}{watt} \quad (\text{Assomadi, 2016})$$

Pada pemodelan akan digunakan nilai K untuk musim penghujan

adalah $1.1044 \frac{\left(\frac{\mu g}{m^2}\right)^2}{watt}$ dan $0.9466 \frac{\left(\frac{\mu g}{m^2}\right)^2}{watt}$ untuk musim kemarau (Assomadi, 2016).

Faktor kinematik diperoleh dengan mengalikan konstanta laju reaksi dengan data GRAD dari BMKG.

$$\text{Faktor Kinematik} = \text{GRAD} \times K_{NO2}$$

4.4.7. Menjalankan *Script* Pemodelan Pada MATLAB

Pemodelan kali ini akan dibedakan berdasarkan periode musim hujan dan musim kemarau. Sehingga akan dibuat 2 script berbeda untuk masing-masing musim dan parameter emisi. Periode pemodelan yang akan dijalankan pada MATLAB disesuaikan dengan waktu pengukuran rutin kualitas udara ambien.

Untuk pemodelan pada periode musim hujan akan dimodelkan sesuai periode pengukuran ambien Kuartal 1 (20 Februari – 1 Maret 2017). Sedangkan untuk periode kemarau akan digunakan sesuai periode pengukuran ambien Kuartal 2 (17 April – 26 April 2017).

4.4.8. Hasil Pemodelan Pada Musim Hujan

A. Kuartal 1 (20 Februari – 1 Maret 2017)

PT Holcim Indonesia Tbk, *Narogong Plant* melakukan pengukuran kualitas ambien di sembilan titik lokasi. Enam titik lokasi berada di luar pabrik dan tiga berada didekat tambang (*quarry*). Hasil pengukuran ambien pada kuartal 1 dapat dilihat pada Tabel 4.14

Pengukuran ambien pada Tabel 4.14 akan dibandingkan dengan hasil pemodelan pada titik-titik tersebut. Pemodelan akan dibedakan berdasarkan parameter emisi SO_2 dan NO_2 . Pada pemodelan akan ditambahkan 1 titik lokasi pengukuran dengan notasi T10. Lokasi tersebut dilakukan pengukuran ambien oleh Dinas Lingkungan Hidup.

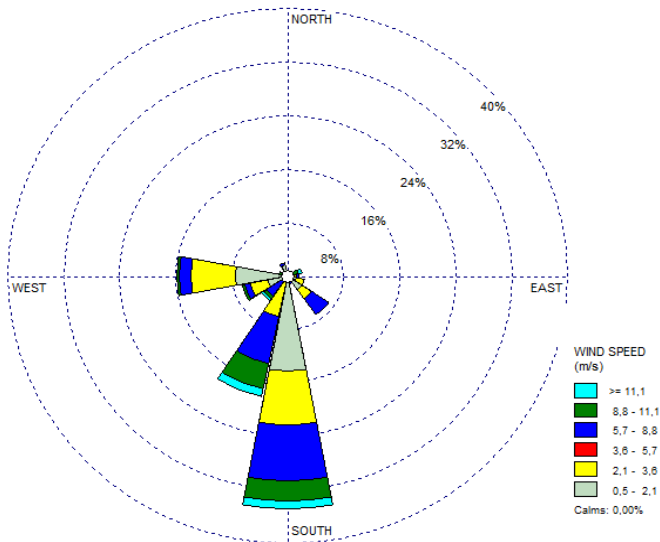
Tabel 4. 14 Hasil Pengukuran Ambien Kuartal 1

Lokasi	Konsentrasi ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	
	SO_2	NO_2
Kuartal 1		
T9	22	10
T4	41	21
T3	32	20
T2	36	16
T1	30	18
T5	27	11
T7	39	19

Lokasi	Konsentrasi ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	
	SO ₂	NO ₂
T8	52	17
T6	53	23

Sumber : PT Holcim Indonesia, Tbk (2018)

Dilakukan analisis arah angin pada Kuartal 1 dengan menggunakan *software* WRPLOT. Hasil analisis kecepatan dan arah angin pada periode Kuartal 1 dapat dilihat pada Gambar 4.11

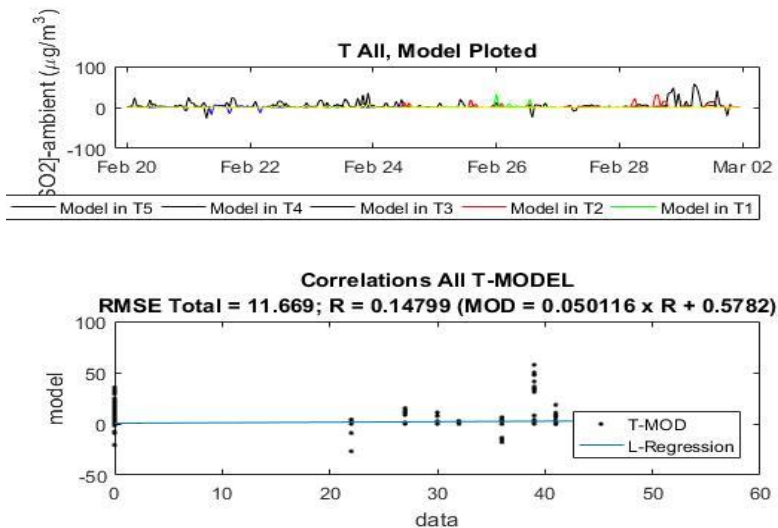


Gambar 4. 11 Arah dan Kecepatan Angin Periode Kuartal 1

Pada Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa arah angin dominan pada periode pengukuran ambien di Kuartal 1 adalah menuju selatan dan barat. Kecepatan angin didominasi antara 0,5 m/s - 2,1 m/s.

1. Pemodelan SO₂

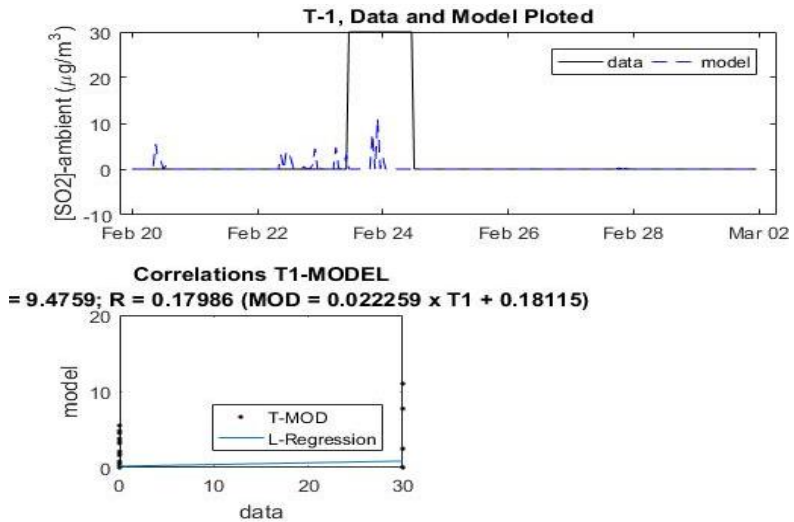
Data arah angin yang digunakan sesuai dengan hasil pemantauan stasiun muara *quarry* PT Holcim Indonesia. Hasil analisis pemodelan emisi SO₂ dapat dilihat pada Gambar 4.12. Berdasarkan Gambar 4.12 didapatkan nilai $R = 0.14799$. Hal tersebut disebabkan karena pengukuran pada titik-titik sampling tidak bersamaan dan bersifat diskontinyu. Pengukuran pada tiap titik sampling dilakukan selama 24 jam dalam satu hari.



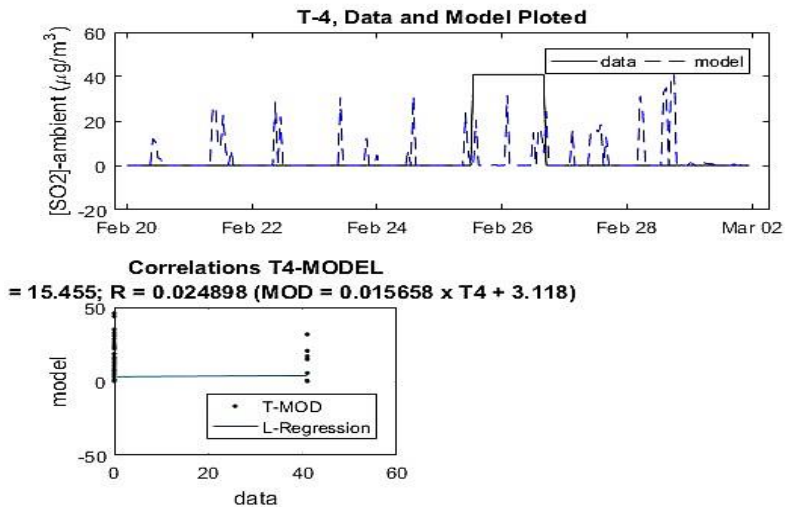
Gambar 4. 12 Hasil analisis pemodelan emisi SO₂ Kuartal 1

Sumber : Hasil analisa MATLAB

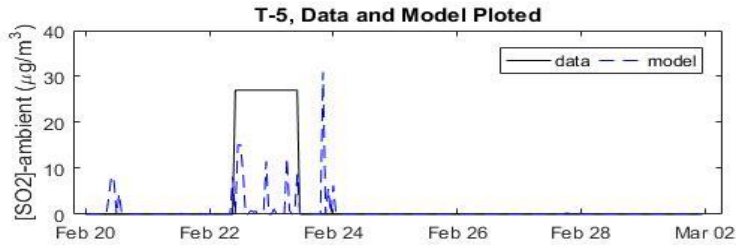
Beberapa titik pengukuran yang memiliki nilai korelasi baik pada beberapa titik yaitu T1, T4, T5, T7, dan T9. Hasil analisis pemodelan MATLAB pada masing-masing titik dapat dilihat pada Gambar 4.13 – Gambar 4.18



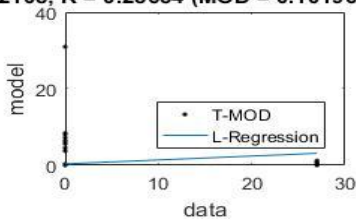
Gambar 4. 13 Hasil analisa pemodelan SO₂ Kuartal 1 pada titik T1



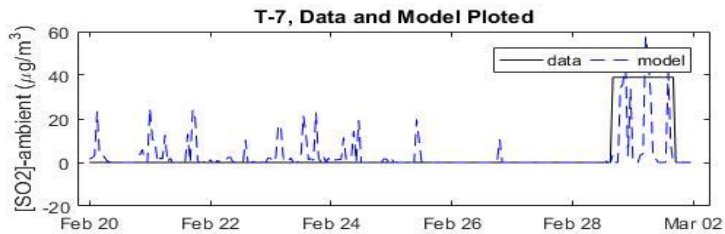
Gambar 4. 14 Hasil analisa pemodelan SO₂ Kuartal 1 pada titik T4



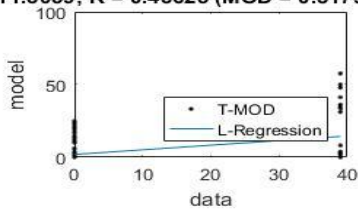
Correlations T5-MODEL
 $= 8.2108; R = 0.28684$ (MOD = $0.10196 \times T5 + 0.36536$)



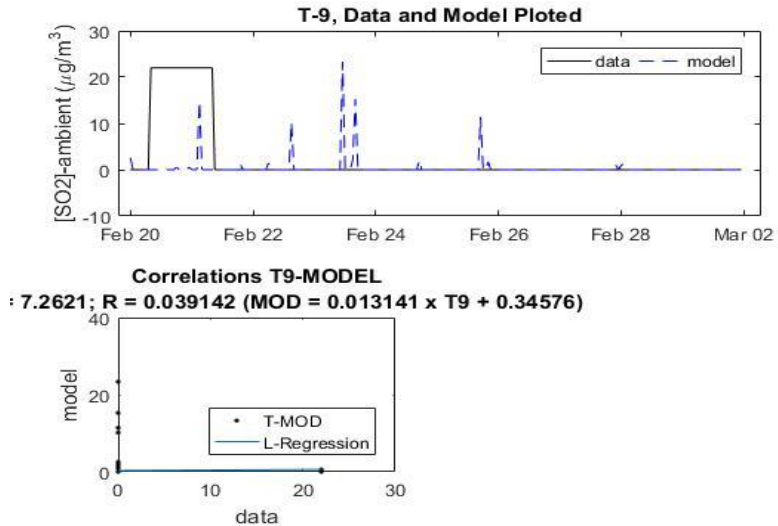
Gambar 4. 15 Hasil analisa pemodelan SO₂ Kuartal 1 pada titik T5



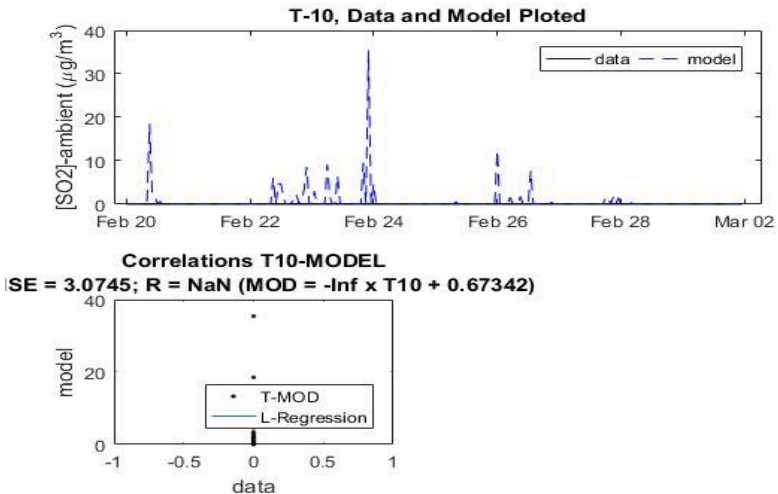
Correlations T7-MODEL
 $= 11.3039; R = 0.43623$ (MOD = $0.3179 \times T7 + 1.9294$)



Gambar 4. 16 Hasil analisa pemodelan SO₂ Kuartal 1 pada titik T7



Gambar 4. 17 Hasil analisa pemodelan SO₂ Kuartal 1 pada titik T9



Gambar 4. 18 Hasil analisa pemodelan SO₂ Kuartal 1 pada titik T10

Berdasarkan Gambar 4.13 – Gambar 4.18, nilai *R square* yang didapatkan masih belum memenuhi kriteria minimal korelasi

pemodelan 0,567. Hal ini dikarenakan pengukuran di lapangan dilakukan secara diskontinyu dan data dibandingkan dengan nilai pengukuran rata-rata. Sehingga data hasil pemodelan pada setiap titik akan dihitung nilai rata-rata pemodelan dan dibandingkan dengan data rata-rata pengukuran lapangan dengan Excel.

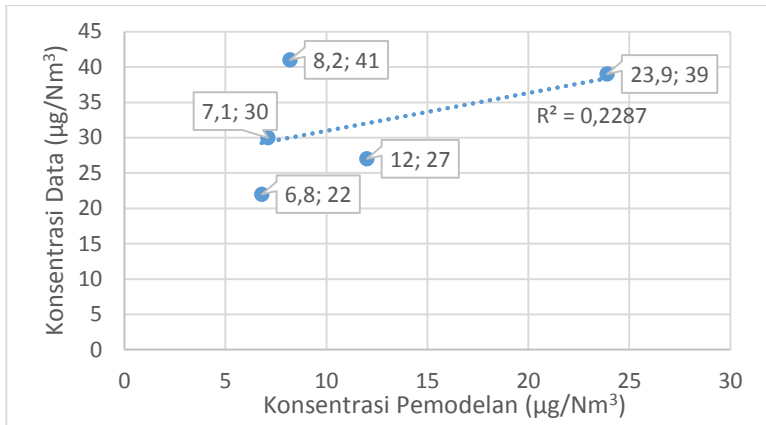
Tabel 4. 15 Nilai Rata-Rata Pengukuran dan Hasil Model SO₂ Kuartal 1

Titik	DATA (µg/Nm³)	MODEL (µg/Nm³)
T9	22	6,8
T4	41	8,2
T5	27	12
T7	39	23,9
T1	30	7,1

Sumber : Hasil Perhitungan

Dibuat grafik perbandingan dengan data pada Tabel 4.15 untuk melihat nilai *R Square*. *R Square* adalah suatu nilai untuk mengukur kebaikan sesuai (*goodness of fit*) dari persamaan regresi yaitu memberikan proporsi atau persentase variasi total dalam variabel terikat yang dijelaskan oleh variabel bebas. Nilai R^2 terletak antara 0 – 1, dan kecocokan model dikatakan lebih baik kalau R^2 semakin mendekati 1. Hasil dapat dilihat pada Gambar 4.19.

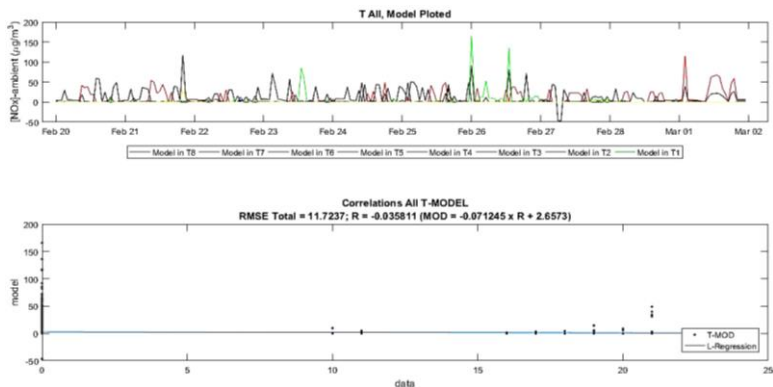
Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Gambar 4.19, maka perbandingan hasil rata-rata nilai pemodelan belum masuk kriteria minimum yang ditetapkan oleh standard EPA yaitu 0,567. Hal ini dapat dipengaruhi oleh berbagai sumber lain seperti pabrik sekitar, *line source* dan lain-lain.



Gambar 4. 19 Hasil Analisa Statistik Pemodelan SO₂ Kuartal 1

2. Pemodelan NO_x

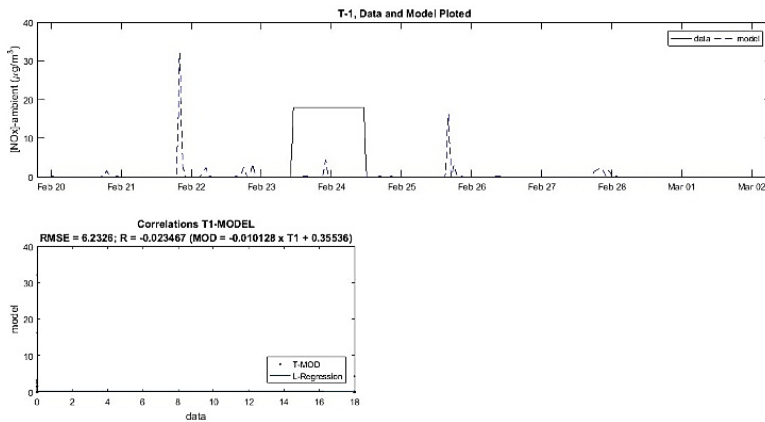
Data arah angin yang digunakan sesuai dengan hasil pemantauan stasiun pemantau muara *quarry* PT Holcim Indonesia. Hasil analisis pemodelan emisi NO₂ Kuartal 1 dapat dilihat pada Gambar 4.20



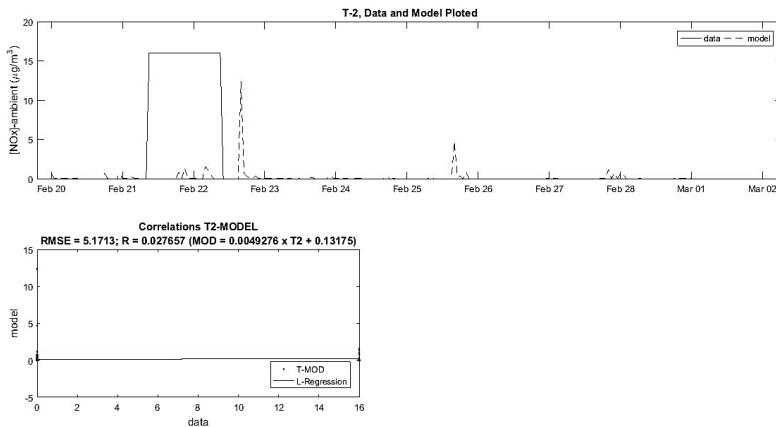
Gambar 4. 20 Hasil analisis pemodelan emisi NO₂ Kuartal 1
 Sumber : Hasil Analisis MATLAB

Hasil pemodelan pada Gambar 4.20 didapatkan nilai $R = -0.035811$. Hal tersebut disebabkan pengukuran pada titik-titik sampling tidak bersamaan dan diskontinuous. Pengukuran pada tiap titik sampling dilakukan selama 24 jam dalam satu hari.

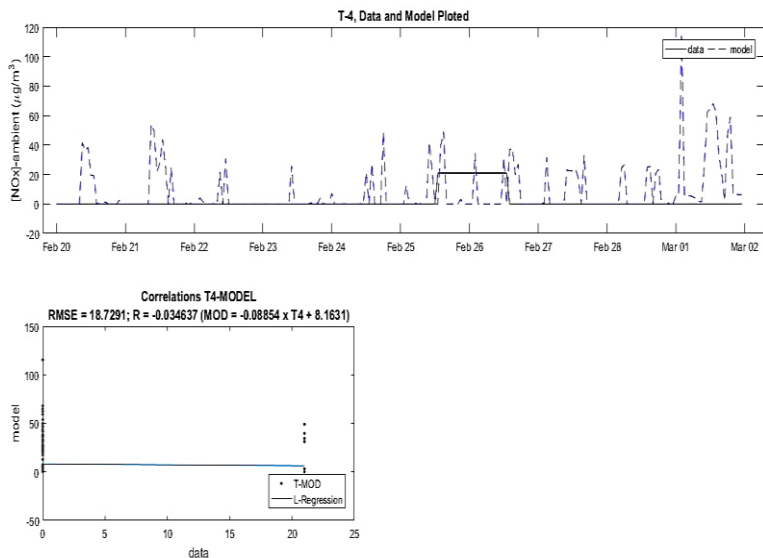
Dilihat dari hasil pemodelan pada tiap titik pengukuran T1, T2, T4, T5, dan T9 memiliki nilai yang mendekati dengan data lapangan. Hasil dapat dilihat pada Gambar 4.21 – Gambar 4.25



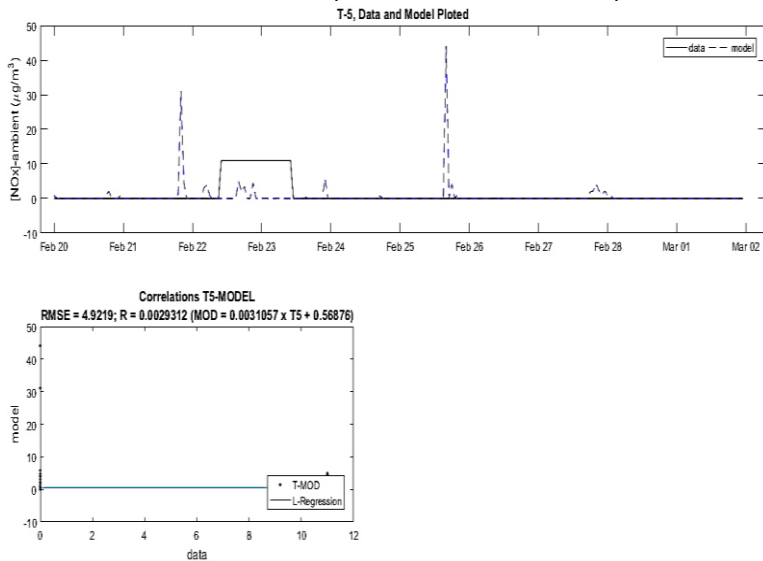
Gambar 4. 21 Hasil analisa pemodelan NO_2 Kuartal 1 pada titik T1



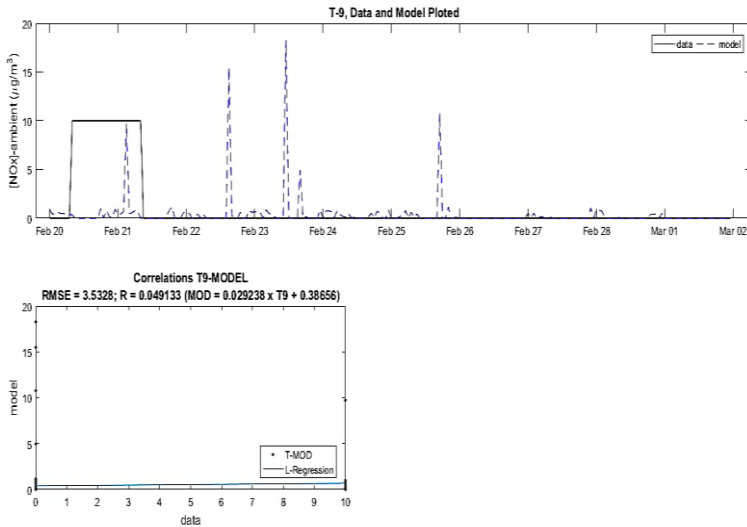
Gambar 4. 22 Hasil analisa pemodelan NO_2 Kuartal 1 pada titik T2



Gambar 4. 23 Hasil analisa pemodelan NO₂ Kuartal 1 pada titik T4



Gambar 4. 24 Hasil analisa pemodelan NO₂ Kuartal 1 pada titik T5



Gambar 4. 25 Hasil analisa pemodelan NO₂ Kuartal 1 pada titik T9

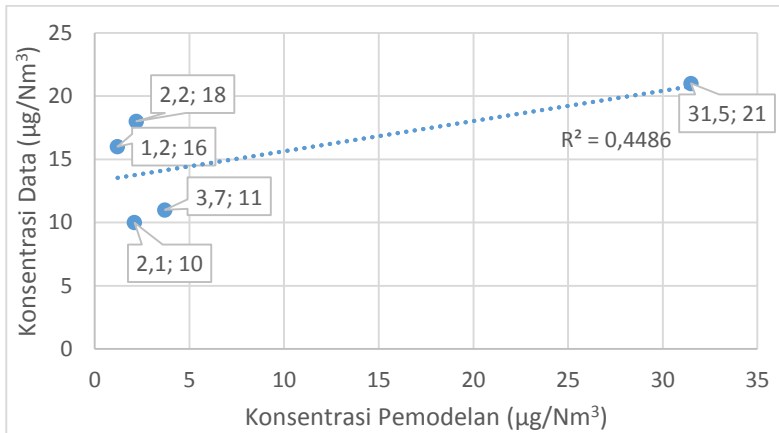
Nilai R yang didapatkan masih belum memenuhi kriteria minimal korelasi pemodelan 0,567. Hal ini dikarenakan pengukuran di lapangan dilakukan secara diskontinu. Sehingga data hasil pemodelan akan dihitung nilai rata-rata pemodelan dan dibandingkan dengan data rata-rata pengukuran lapangan.

Tabel 4. 16 Nilai Rata-Rata Pengukuran dan Hasil Model NO₂ Kuartal 1

T	DATA (µg/Nm³)	MODEL (µg/Nm³)
T2	16	1,2
T9	10	2,1
T1	18	2,2
T5	11	3,7
T4	21	31,5

Sumber : Hasil Perhitungan

Dibuat grafik perbandingan dengan data pada Tabel 4.16 untuk melihat nilai *R Square*. Dengan hasil dapat dilihat pada Gambar 4.26



Gambar 4. 26 Hasil Analisa Statistik Pemodelan NO_2 Kuartal 1

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Gambar 4.26, maka perbandingan hasil rata-rata nilai pemodelan belum masuk kriteria minimum yang ditetapkan oleh standard EPA yaitu 0,567. Hal ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya arah dan kecepatan angin terhadap lokasi pengukuran, emisi dari *line source* dan emisi dari sumber titik dari pabrik lain. Posisi PT Holcim terhadap pabrik sekitar dapat dilihat pada Gambar 2.1.

4.4.9. Hasil Pemodelan Pada Musim Kemarau

A. Kuartal 2 (17 April – 26 April 2017)

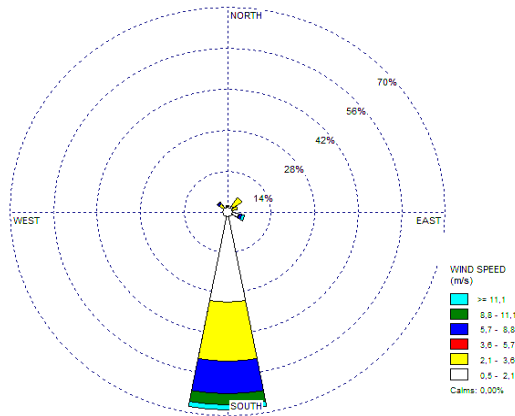
PT Holcim Indonesia Tbk, *Narogong Plant* melakukan pengukuran kualitas ambien periode Kuartal 2 di sembilan titik lokasi. Pemantauan dilakukan pada titik-titik lokasi yang sama seperti periode Kuartal 1. Hasil pengukuran ambien pada kuartal 2 dapat dilihat pada Tabel 4.17

Tabel 4. 17 Hasil Pengukuran Kualitas Ambien Kuartal 2

Lokasi	Konsentrasi ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	
	SO ₂	NO ₂
Kuartal 2		
T9	23	12
T4	41	27
T3	38	22
T2	42	15
T1	29	16
T5	22	14
T7	33	24
T8	47	21
T6	39	25

Sumber : PT Holcim Indonesia, Tbk (2018)

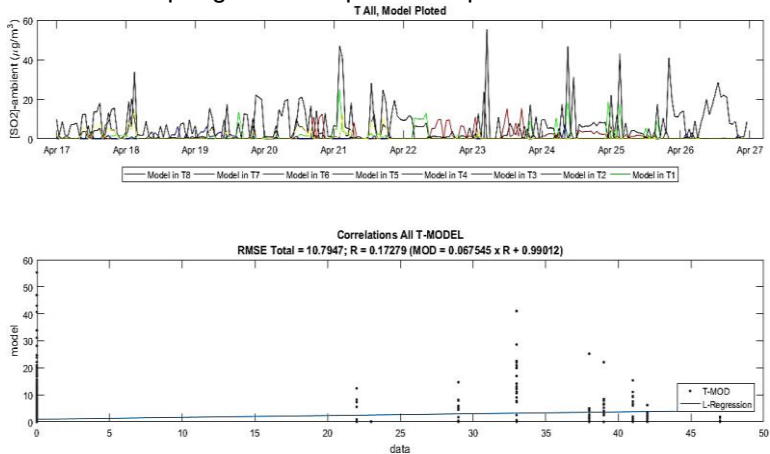
Pemodelan akan dibedakan berdasarkan parameter emisi SO₂ dan NO_x. Arah angin dan kecepatan disesuaikan dengan waktu pada periode Kuartal 2. Analisis dilakukan dengan *software* WRPLOT pada Gambar 4.27. Berdasarkan Gambar 4.27 dapat diketahui bahwa arah dominan angin adalah menuju selatan dengan kecepatan 2.1 m/s -3.6 m/s.



Gambar 4. 27 Arah dan Kecepatan Angin Periode Kuartal 2

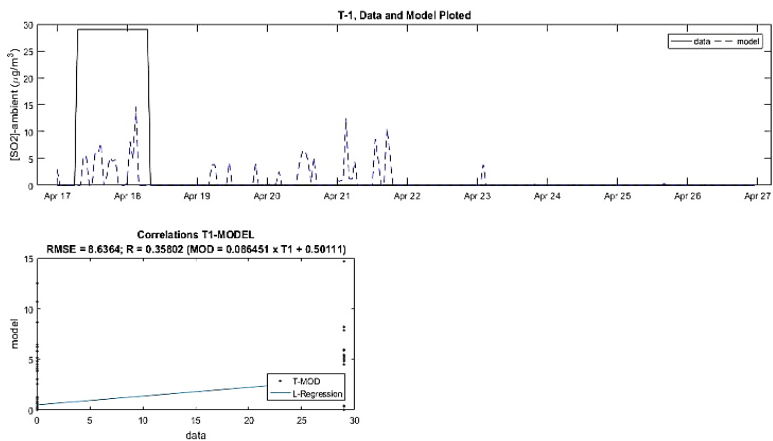
1. Pemodelan SO₂

Hasil analisis pemodelan emisi SO₂ pada periode Kuartal 2 di seluruh titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.28

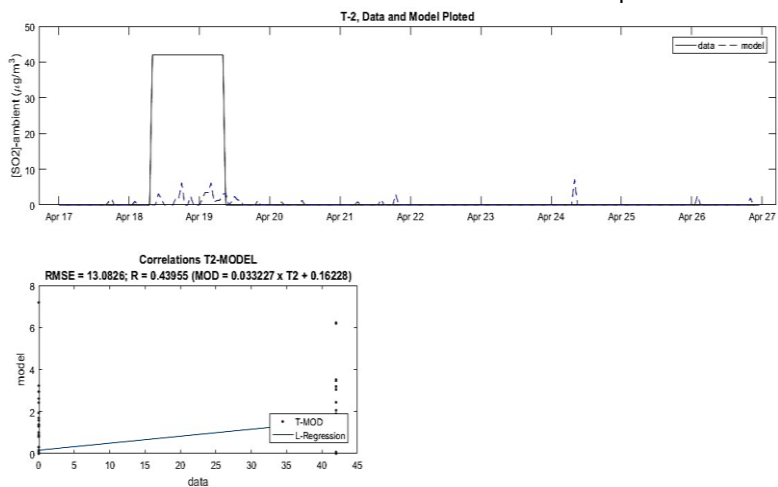


Gambar 4. 28 Hasil analisis pemodelan emisi SO₂ Kuartal 2

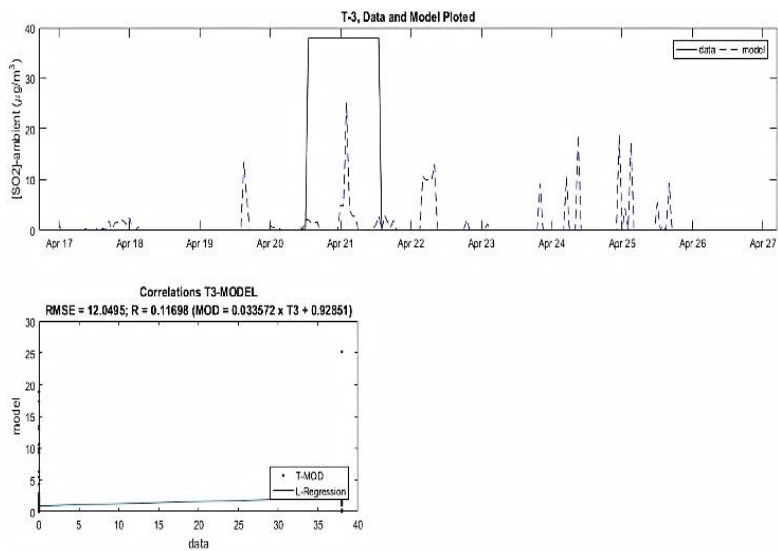
Pada Gambar 4.28 hasil analisis menghasilkan nilai $R = 0.17279$. Hal ini dikarenakan persentase arah angin searah dengan titik pemantauan cukup sesuai. Dibandingkan dengan hasil pada analisis di Kuartal 1. Hasil pemodelan pada beberapa titik pemantauan yang memiliki persentase korelasi baik dapat dilihat pada Gambar 4.29 - Gambar 4.36



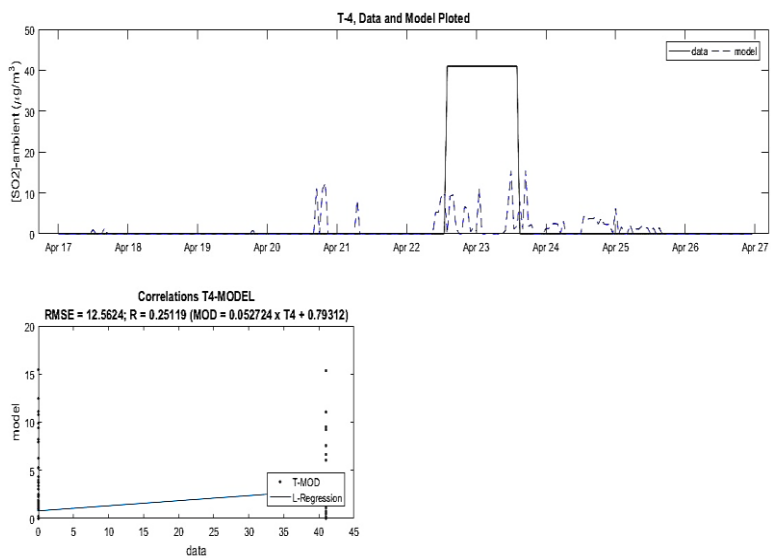
Gambar 4. 29 Hasil analisis korelasi SO₂ Kuartal 2 pada T1



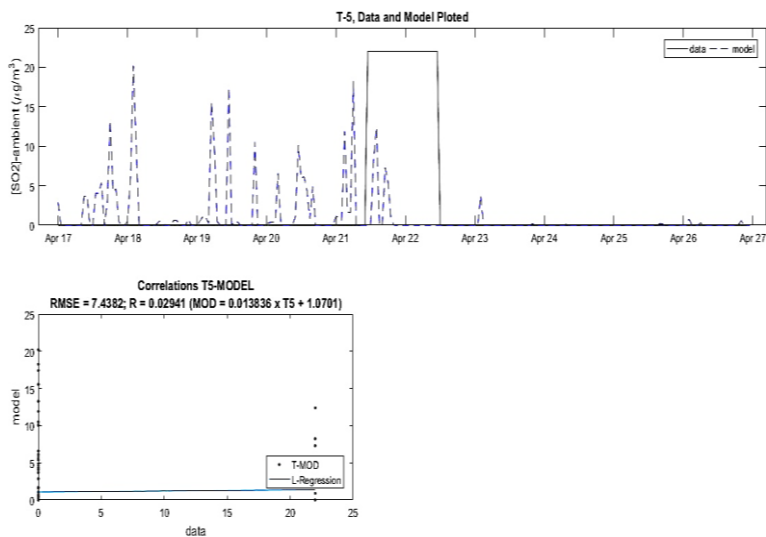
Gambar 4. 30 Hasil analisis korelasi SO₂ Kuartal 2 pada T2



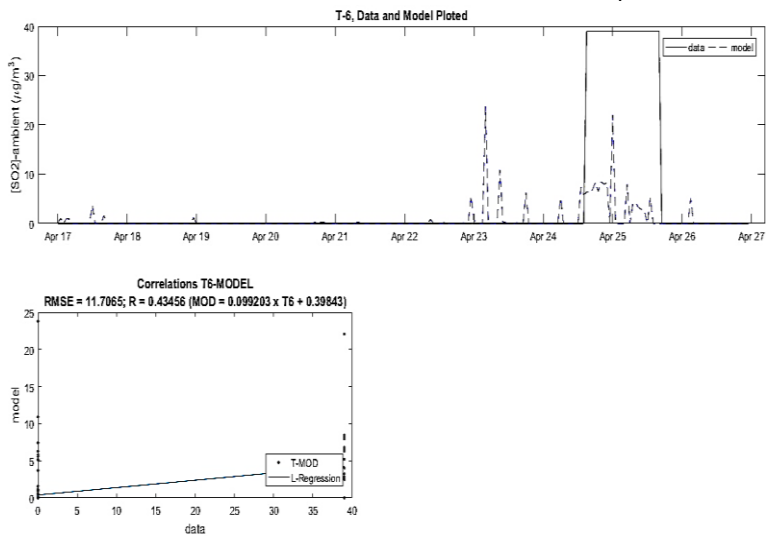
Gambar 4. 31 Hasil analisis korelasi SO₂ Kuartal 2 pada T3



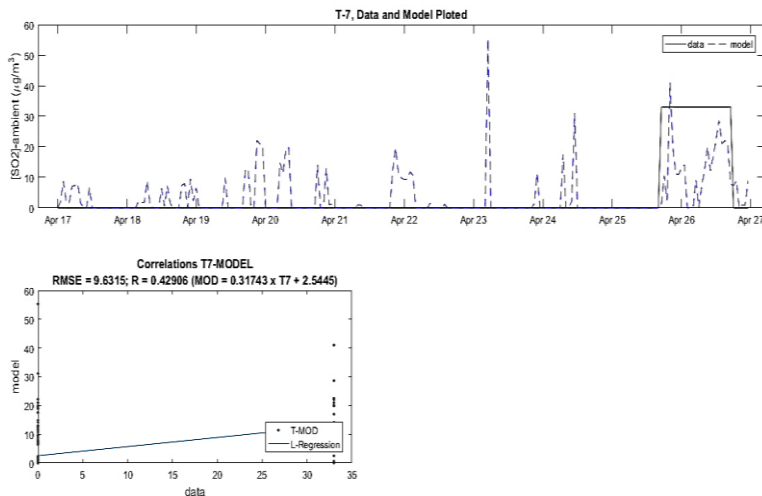
Gambar 4. 32 Hasil analisis korelasi SO₂ Kuartal 2 pada T4



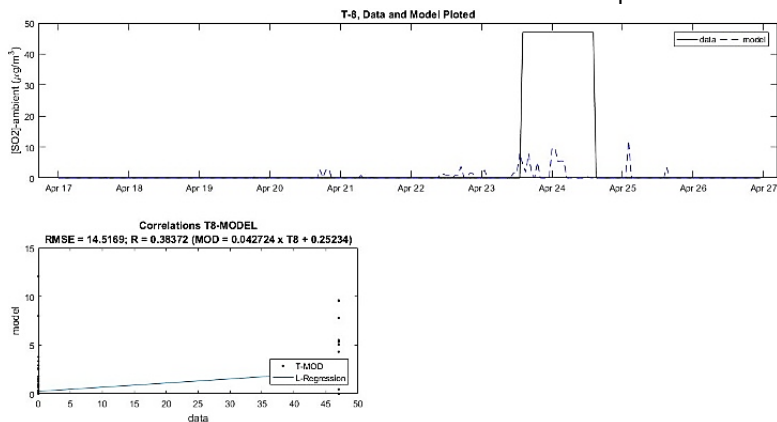
Gambar 4. 33 Hasil analisis korelasi SO₂ Kuartal 2 pada T5



Gambar 4. 34 Hasil analisis korelasi SO₂ Kuartal 2 pada T6



Gambar 4. 35 Hasil analisis korelasi SO_2 Kuartal 2 pada T7



Gambar 4. 36 Hasil analisis korelasi SO_2 Kuartal 2 pada T8

Dapat dilihat pada Gambar 4.29- Gambar 4.36 bahwa nilai korelasi positif pada periode Kuartal 2 belum memenuhi kriteria minimal korelasi pemodelan 0,567. Hal ini dikarenakan pengukuran di lapangan dilakukan secara diskontinyu dan nilai model yang dibandingkan bukan hasil rata-rata. Sehingga data

hasil pemodelan pada setiap titik akan dihitung nilai rata-rata pemodelan dan dibandingkan dengan data rata-rata pengukuran lapangan dengan *Excel*. Hasil nilai rata-rata pemodelan pada setiap titik dapat dilihat pada Tabel 4.18.

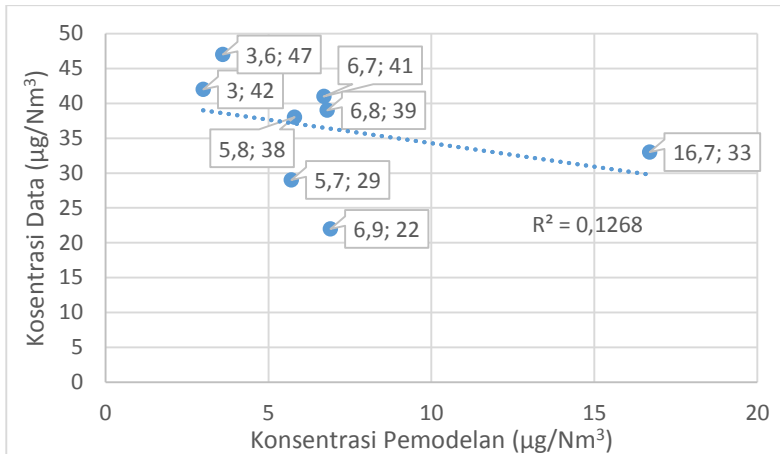
Tabel 4. 18 Nilai Rata-Rata Pengukuran dan Hasil Model SO₂ Kuartal 2

T	DATA ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	MODEL ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
T1	29	5,7
T2	42	3
T3	38	5,8
T4	41	6,7
T5	22	6,9
T6	39	6,8
T7	33	16,7
T8	47	3,6

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan data pada Tabel 4.18 dibuat grafik perbandingan data rata-rata lapangan dengan data rata-rata pemodelan. Hasil dapat dilihat pada Gambar 4.37.

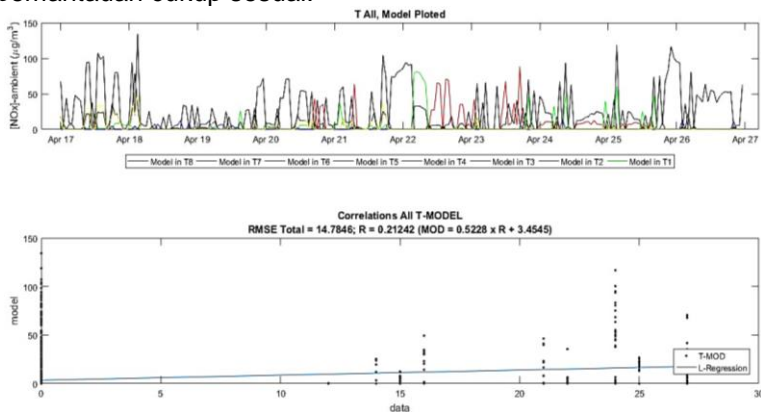
Hasil yang diperoleh pada Gambar 4.37, didapatkan nilai *R square* 0,1268, maka perbandingan hasil rata-rata nilai pemodelan SO₂ belum masuk kriteria minimum yang ditetapkan oleh standard EPA yaitu 0,567. Hal ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya arah dan kecepatan angin terhadap lokasi pengukuran, emisi dari *line source* dan emisi dari sumber titik dari pabrik lain. Posisi PT Holcim terhadap pabrik sekitar dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 4. 37 Hasil Analisa Statistik Pemodelan SO₂ Kuartal 2
Sumber : Hasil Analisis Excel

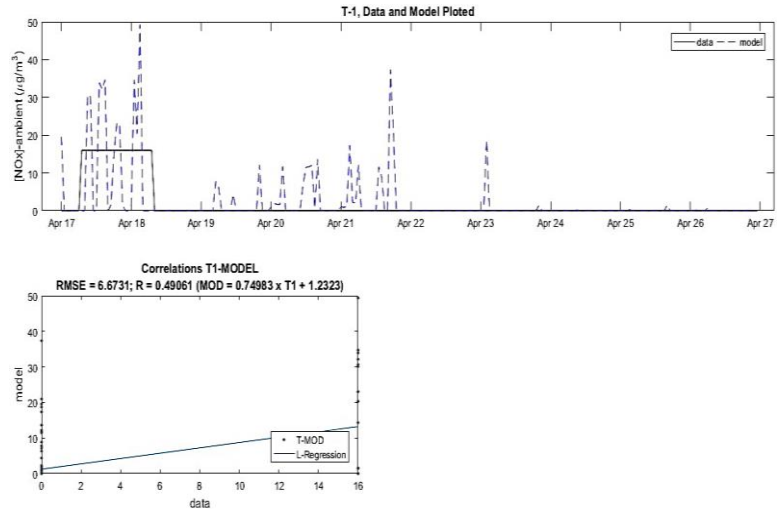
2. Pemodelan NO_x

Hasil analisis pemodelan emisi NO₂ pada periode Kuartal 2 di seluruh titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.38. Pada Gambar 4.38 hasil analisis menghasilkan nilai $R = 0.21242$. Hal ini dikarenakan persentase arah angin searah dengan titik pemantauan cukup sesuai.

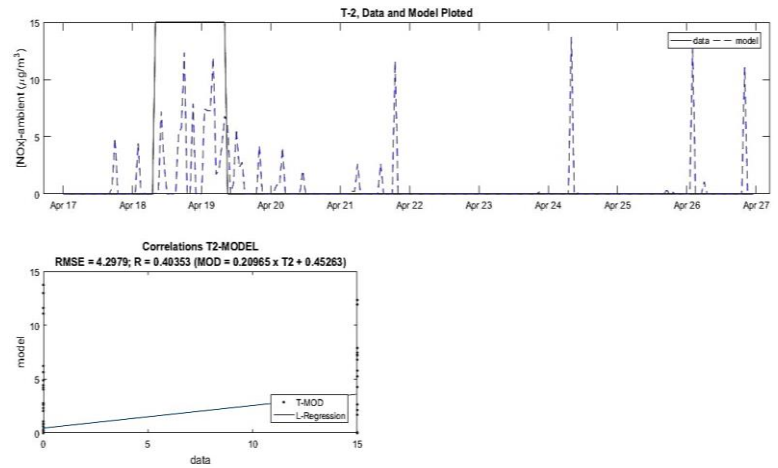


Gambar 4. 38 Hasil Pemodelan NO₂ Pada Kuartal 2

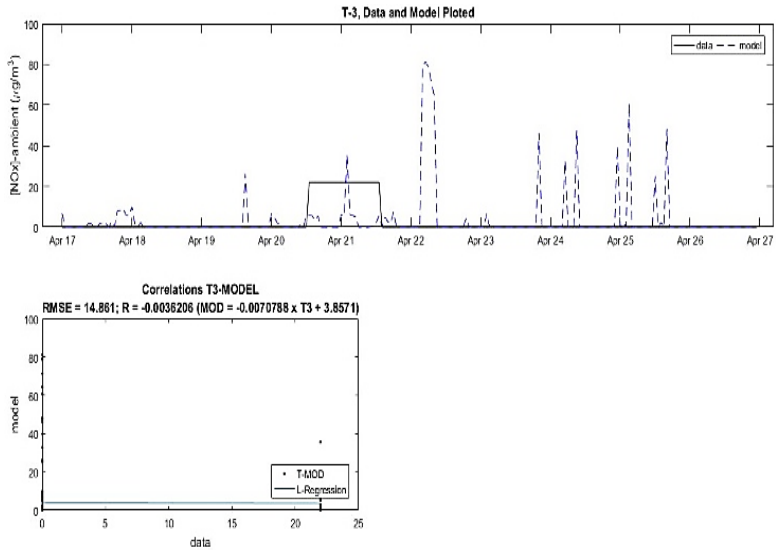
Hasil pemodelan pada beberapa titik pemantauan yang memiliki persentase korelasi baik dapat dilihat pada Gambar 4.39 – 4.47



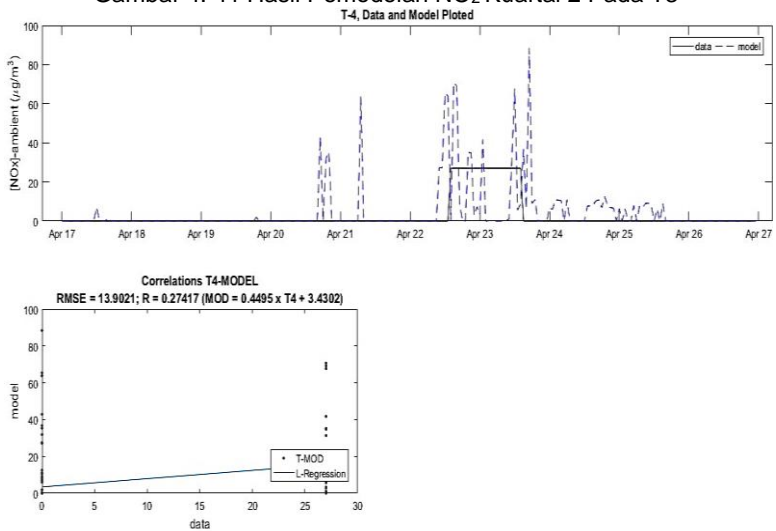
Gambar 4. 39 Hasil Pemodelan NO_2 Kuartal 2 Pada Titik T1



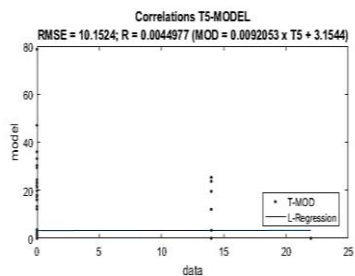
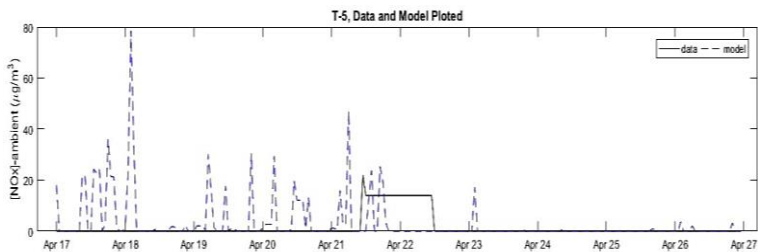
Gambar 4. 40 Hasil Pemodelan NO_2 Kuartal 2 Pada T2



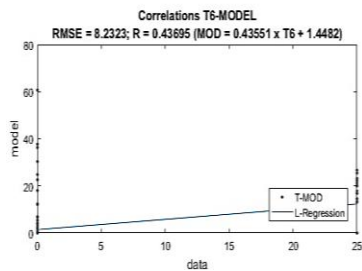
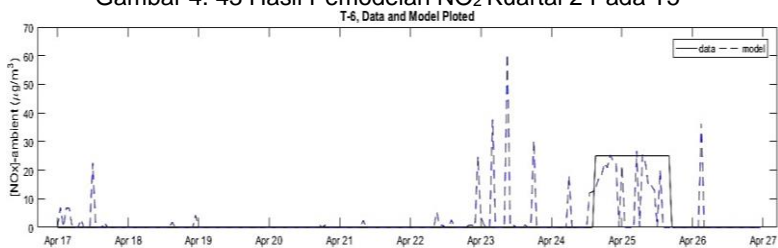
Gambar 4. 41 Hasil Pemodelan NO₂ Kuartal 2 Pada T3



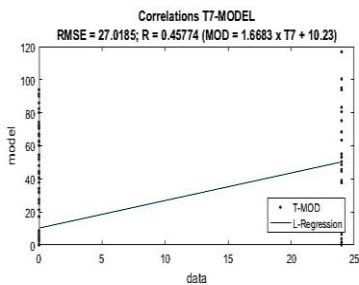
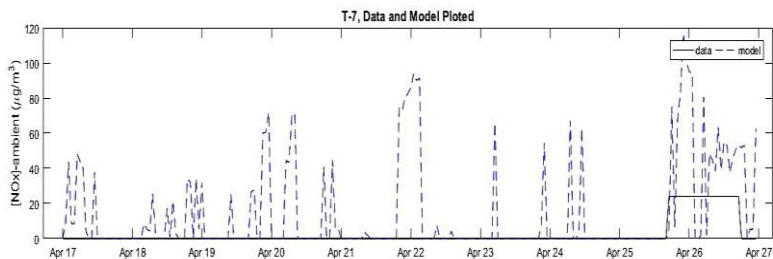
Gambar 4. 42 Hasil Pemodelan NO₂ Kuartal 2 Pada T4



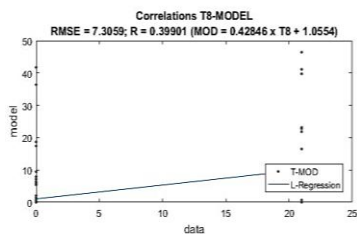
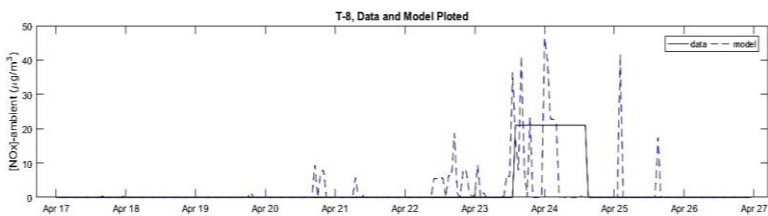
Gambar 4. 43 Hasil Pemodelan NO₂ Kuartal 2 Pada T5



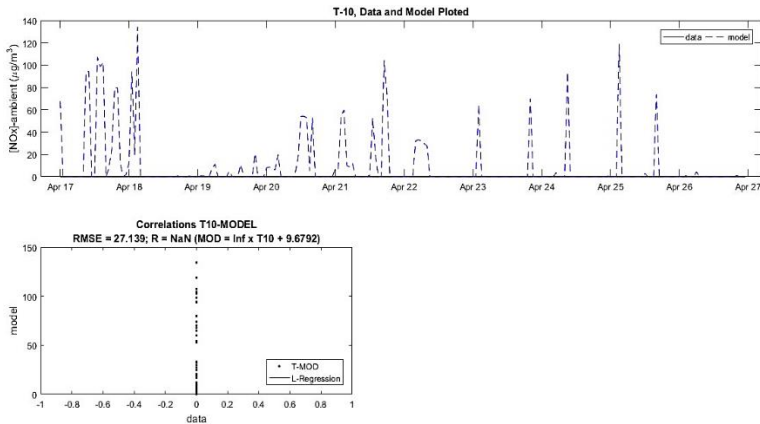
Gambar 4. 44 Hasil Pemodelan NO₂ Kuartal 2 Pada T6



Gambar 4. 45 Hasil Pemodelan NO₂ Kuartal 2 Pada T7



Gambar 4. 46 Hasil Pemodelan NO₂ Kuartal 2 Pada T8



Gambar 4. 47 Hasil Pemodelan NO₂ Kuartal 2 Pada T10

Dapat dilihat pada Gambar 4.39 - 4.47 bahwa nilai korelasi positif pada periode Kuartal 2 diperoleh di titik T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 dan T8. Namun nilai yang didapatkan masih belum memenuhi kriteria minimal korelasi pemodelan 0,567. Hal ini dikarenakan pengukuran di lapangan dilakukan secara diskontinyu dan nilai model yang dibandingkan bukan hasil rata-rata. Sehingga data hasil pemodelan pada setiap titik akan dihitung nilai rata-rata pemodelan dan dibandingkan dengan data rata-rata pengukuran lapangan. Hasil nilai rata-rata pemodelan pada setiap titik dapat dilihat pada Tabel 4.19.

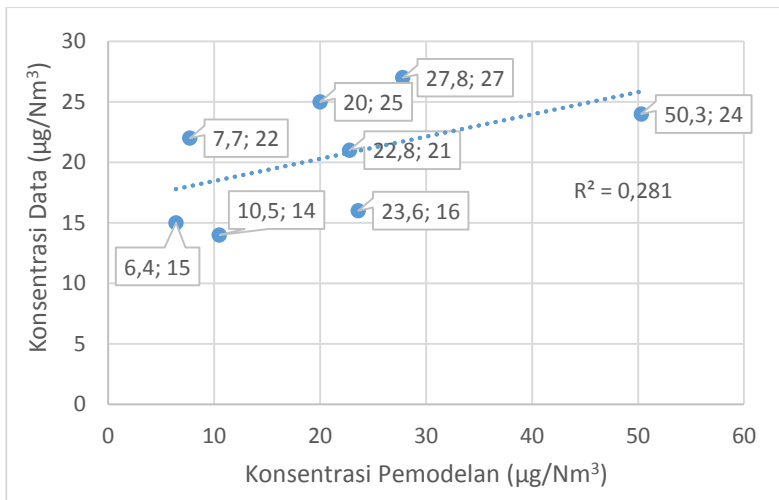
Tabel 4. 19 Nilai Rata-Rata Pengukuran dan Hasil Model NO₂ Kuartal 2

T	DATA (µg/Nm ³)	MODEL (µg/Nm ³)
T2	15	6,4
T3	22	7,7
T5	14	10,5
T6	25	20
T8	21	22,8
T1	16	23,6

T	DATA ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	MODEL ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)
T4	27	27,8
T7	24	50,3

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan data pada Tabel 4.19 dibuat grafik perbandingan data rata-rata lapangan dengan data rata-rata pemodelan. Hasil dapat dilihat pada Gambar 4.48



Gambar 4. 48 Hasil Analisa Statistik Pemodelan NO₂ Kuartal 2
Sumber : Hasil Analisis Excel

4.4.10. Konsentrasi Polutan Berdasarkan Output Model

Dispersi di Lokasi Sampling Udara Ambien

A. Kuartal 1 (20 Februari – 1 Maret 2017)

1. Hasil Pemodelan SO₂

Berdasarkan hasil pemodelan, data lapangan akan dibandingkan dengan data analisis pemodelan. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.20

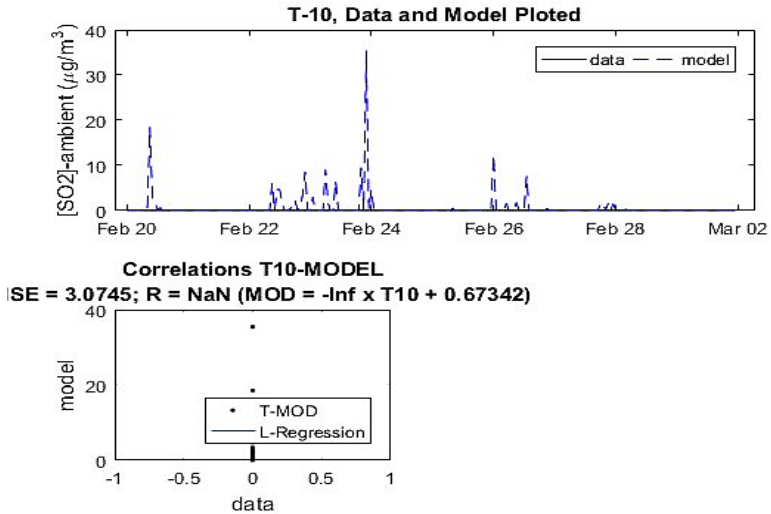
Tabel 4. 20 Perbandingan Hasil Pemodelan SO₂ Kuartal 1

Notasi Pada Peta Dispersi	Konsentrasi SO ₂ (µg/Nm ³)		
	Data	Model (average)	Model (max)
Kuartal 1			
T9	22	6,8	26,8
T4	41	8,2	37,6
T3	32	1,4	2,7
T2	36	4,2	6,2
T1	30	7,1	11
T5	27	6	15,2
T7	39	23,9	57,6
T8	52	5,2	7
T6	53	4	7
T10	-	7	35,4

Sumber : Hasil Pemodelan

Berdasarkan Tabel 4.20, diperoleh hasil pemodelan. Data hasil pemodelan yang dibandingkan pada waktu pengukuran lapangan tiap titik. Sedangkan pada T10, diambil rata-rata hasil pada seluruh waktu pengukuran. Hal ini dikarenakan tidak ada data pengukuran ambien pada titik tersebut di Kuartal 1. Hasil pemodelan pada T10 dapat dilihat pada Gambar 4.49.

Pada Gambar 4.49 dapat diketahui bahwa konsentrasi maksimum T10 mencapai 35,4 µg/Nm³ pada tanggal 24 Februari 2017. Pada tanggal tersebut adalah waktu pengukuran ambien di T1 dengan dominasi arah angin ke selatan, namun pada tanggal 24 Februari 2017 arah angin dominan ke arah utara dan posisi T10 berada di arah utara. Hal tersebut yang menyebabkan hasil pemodelan konsentrasi emisi SO₂ pada T10 dapat mencapai 35,4 µg/Nm³.



Gambar 4. 49 Hasil Pemodelan Pada T10 Kuartal 1

2. Hasil Pemodelan NO_x

Berdasarkan hasil pemodelan NO_x pada periode Kuartal 1, data lapangan akan dibandingkan dengan data analisis pemodelan. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.21

Tabel 4. 21 Perbandingan Hasil Pemodelan NO_x dengan Data Lapangan

Notasi Pada Peta Dispersi	Konsentrasi NO ₂ (µg/Nm ³) Data	Model	Model
		(average)	(max)
Kuartal 1			
T9	10	2,1	24,8
T4	21	31,5	49
T3	20	4,9	8,5
T2	16	1,2	1,6
T1	18	2,2	4,3

Notasi Pada Peta Dispersi	Konsentrasi NO ₂ (µg/Nm ³) Data	Model (average)	Model (max)
T5	11	3,7	4,9
T7	19	3	14,5
T8	17	1,3	3,4
T6	23	0,8	3,2
T10	-	15,7	117

Sumber : Hasil Analisis Pemodelan

Berdasarkan perbandingan hasil pemodelan dengan data pada Tabel 4.21 pengukuran lapangan dapat diketahui bahwa nilai NO_x pemodelan melebihi dari data pengukuran lapangan. Hal ini mengindikasikan adanya faktor yang berpengaruh terhadap konsentrasi seperti tutupan awan dan intensitas matahari. Dalam proses dispersi NO₂ akan mengalami kinetika reaksi akibat adanya fluks matahari (GRAD) (Assomadi, 2016). Sehingga akan terjadi perubahan konsentrasi selama proses dispersi pada siang hari. Hal ini akan berdampak pada perbandingan konsentrasi dispersi emisi pada siang dan malam hari. Sehingga dibuat grafik fluktuasi perubahan konsentrasi emisi seperti pada Gambar 4.50



Gambar 4. 50 Fluktuasi Konsentrasi NO₂ Musim Hujan

Berdasarkan Gambar 4.50 dapat diketahui bahwa konsentrasi NO₂ pada pukul 11:00 hingga 17:00 mengalami penurunan. Untuk melihat keterkaitan maka grafik fluktuasi konsentrasi NO₂ dibandingkan dengan grafik perubahan intensitas diurnal PT Holcim Indonesia Tbk, *Narogong Plant* . Dibandingkan dengan Gambar 4.8 dapat diketahui bahwa konsentrasi NO₂ akan menurun seiring peningkatan intensitas GRAD pada siang hari.

Hal ini sesuai dengan teori bahwa waktu pertama (3:00-7:00), konsentrasi NO_x akan meningkat karena NO akan bereaksi dengan O₃ tanpa adanya inisiasi dari GRAD, menghasilkan banyak NO₂ dan menurunkan konsentrasi O₃. Selama waktu kedua (7:00-15:00) terjadi peningkatan intensitas GRAD dan reaksi fotokimia yang menghasilkan O₃ akan mendominasi. Waktu ketiga (15:00-20:00), konsentrasi O₃ akan menurun, sebaliknya konsentrasi NO₂ akan naik. Pada waktu keempat (20:00-3:00), akan dicapai keseimbangan konsentrasi NO_x dan O₃ karena tidak adanya GRAD (Song, *et al.*, 2011)

B. Quartal 2 (17 April – 26 April 2017)

1. Hasil Pemodelan SO₂

Berdasarkan hasil pemodelan SO₂ pada periode Kuartal 2, data lapangan akan dibandingkan dengan data analisis pemodelan. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.22

Tabel 4. 22 Perbandingan Hasil Pemodelan SO₂ dengan Data Lapangan

Notasi Pada Peta Dispersi	Konsentrasi SO ₂ (µg/Nm ³)		
	Data	Model (average)	Model (max)
Kuartal 2			
T9	23	0,2	0,2
T4	41	6,7	15,8
T3	38	5,8	28
T2	42	3	6,5
T1	29	5,7	14,5

Notasi Pada Peta Dispersi	Konsentrasi SO ₂ (µg/Nm ³) Data	Model	Model
		(average)	(max)
T5	22	6,9	12,8
T7	33	16	42,5
T8	47	3,6	7,9
T6	39	6,8	21,6
T10	-	19,6	42,4

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan hasil model pada Tabel 4.22 nilai konsentrasi SO₂ maksimal berada pada T6, T7, T1 dan T4. Pada T6 dan T4, hal ini disebabkan karena posisi titik-titik tersebut berada di selatan dan sesuai dengan arah angin dominan pada Kuartal 2. Sedangkan T7 dan T1 disebabkan oleh kecepatan angin searah dengan titik dan beban emisi dispersi tinggi.

2. Hasil Pemodelan NO₂

Berdasarkan hasil pemodelan, data lapangan akan dibandingkan dengan data analisis pemodelan. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.23

Tabel 4. 23 Perbandingan Hasil Pemodelan dengan Data Lapangan

Notasi Pada Peta Dispersi	Konsentrasi NO ₂ (µg/Nm ³)		
	Data	Model (average)	Model (max)
Kuartal 2			
T9	12	0,15	0,4
T4	27	12,7	70,7
T3	22	7,7	35,6
T2	15	6,4	12,3
T1	16	11,7	49,4

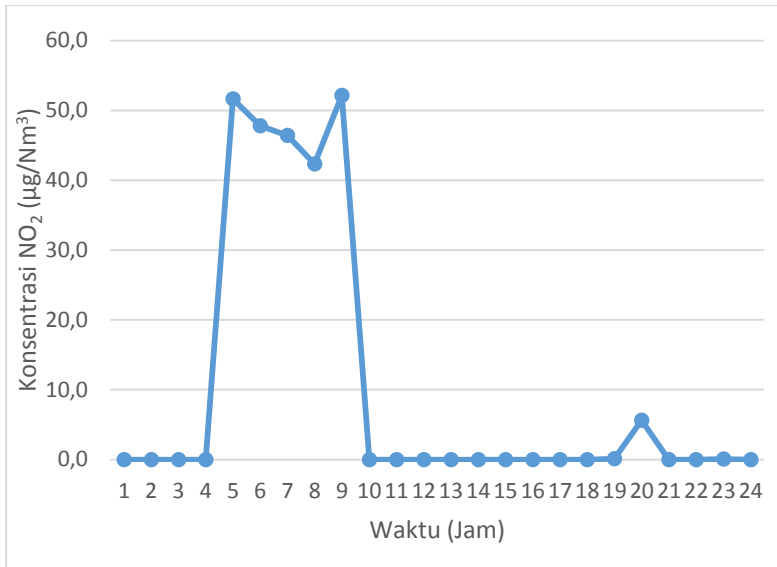
Notasi Pada Peta Dispersi	Konsentrasi NO ₂ (µg/Nm ³)		
	Data	Model (average)	Model (max)
T5	14	10,5	25,4
T7	24	50,3	116,8
T8	21	22,8	48,2
T6	25	20	26,7
T10	-	12,98	134,2

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan perbandingan hasil pemodelan pada Tabel 4.23 dengan data pengukuran lapangan dapat diketahui bahwa nilai NO_x pemodelan pada T1 hingga T8 memiliki nilai maksimum yang mendekati dengan data lapangan. Pada T4, T1, T6, T10, T3 Hal ini dikarenakan faktor kecepatan dan arah angin pada waktu pemodelan.

Dalam proses dispersi NO₂ akan mengalami kinetika reaksi akibat adanya fluks matahari (GRAD) (Assomadi, 2016). Sehingga akan terjadi perubahan konsentrasi selama proses dispersi pada siang hari. Hal ini akan berdampak pada perbedaan konsentrasi dispersi emisi pada siang dan malam hari. Sehingga dibuat grafik fluktuasi perubahan konsentrasi emisi seperti pada Gambar 4.51

Berdasarkan Gambar 4.51 dapat diketahui bahwa perubahan konsentrasi emisi sesuai dengan perubahan GRAD diurnal pada Gambar 4.8. Dimana pada siang hari saat intensitas GRAD tinggi akan menyebabkan penurunan konsentrasi emisi NO_x. Adanya peningkatan intensitas GRAD akan menyebabkan terjadinya reaksi fotokimia pada NO_x yang akan menghasilkan O₃



Gambar 4. 51 Fluktuasi Konsentrasi NO_x Musim Kemarau
Sumber : Hasil Pemodelan

4.4.11. Jarak dan Konsentrasi Maksimum Permukaan Gas SO₂ dan NO₂

Batasan pada penentuan jarak ditentukan berdasarkan titik lokasi pengukuran data kualitas ambien yang dibandingkan dengan hasil pemodelan.

A. Jarak dan Kosentrasi Maksimum Musim Hujan

Jarak dan konsentrasi maksimum pada periode musim hujan ditentukan berdasarkan hasil pemodelan pada periode Kuartal 1. Hasil pemodelan dengan konsentrasi maksimum dan lokasi dapat dilihat pada Tabel 4.24

Tabel 4. 24 Jarak dan Konsentrasi Maksimum Musim Hujan Hasil Pemodelan

Notasi Pada Peta Dispersi	Konsentrasi Maksimum Musim Hujan (µg/Nm ³)		Jarak (km)
	NO ₂	SO ₂	
	Kuartal 1		
T9	24,8	26,8	2,69
T4	49	37,6	1,23
T3	8,5	2,7	0,99
T2	1,6	6,2	2,15
T1	4,3	11	1,53
T5	4,9	15,2	1,09
T7	14,5	57,6	0,95
T8	3,4	7	1,25
T6	3,2	7	0,9
T10	117	35,4	0,65

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan hasil pada Tabel 4.24 dapat diketahui bahwa terjadi perbedaan yang signifikan pada konsentrasi maksimum emisi NO_x. Hal ini dikarenakan adanya faktor tutupan awan serta tingkat intensitas radiasi matahari yang lebih rendah dibandingkan pada musim kemarau. Hal ini dapat menyebabkan NO_x mengalami reaksi fotokimia secara tidak maksimal, sehingga konsentrasi menjadi tinggi.

Konsentrasi maksimum dispersi emisi SO₂ terjadi pada T10 dan T7. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu arah angin searah titik pengukuran dan jarak titik kurang dari 1 km dari sumber emisi.

B. Jarak dan Konsentrasi Maksimum Musim Kemarau

Jarak dan konsentrasi maksimum pada periode musim kemarau ditentukan berdasarkan hasil pemodelan pada periode Kuartal 2 terhadap titik pemantauan. Hasil pemodelan dengan konsentrasi maksimum dan lokasi dapat dilihat pada Tabel 4.25

Tabel 4. 25 Jarak dan Konsentrasi Maksimum Musim Kemarau Hasil Pemodelan

Notasi Pada Peta	Konsentrasi Maksimum Musim Kemarau ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)		Jarak (km)
	Dispersi		
	NO ₂	SO ₂	
Kuartal 2			
T9	0,4	0,2	2,69
T4	70,7	15,8	1,23
T3	35,6	28	0,99
T2	12,3	6,5	2,15
T1	49,4	14,5	1,53
T5	25,4	12,8	1,09
T7	116,8	42,5	0,95
T8	48,2	7,9	1,25
T6	26,7	21,6	0,9
T10	134,2	42,4	0,65

Sumber : Hasil Analisis Pemodelan

Berdasarkan hasil pada Tabel 4.25 dapat diketahui bahwa semakin jauh titik pengukuran maka konsentrasi dispersi akan semakin rendah, begitu pun sebaliknya. Konsentrasi maksimum emisi SO₂ dan NO_x pada hasil pemodelan di musim kemarau yaitu pada T7 dan T10. Dimana titik lokasi berada pada jarak kurang dari 1 km. Lokasi T7 berada di dalam pabrik. Sedangkan untuk lokasi titik pengukuran di luar pabrik. Konsentrasi tertinggi berada pada T10 dan T4. Hal ini dikarenakan lokasi T4 berada pada selatan pabrik yang juga searah dengan arah angin dominan pada periode pengukuran.

4.5. Hasil Overlay Pemodelan Setiap Parameter Pada Musim Hujan dan Kemarau

4.5.1. Musim Hujan

A. Parameter SO₂

Hasil overlay parameter SO₂ pada musim hujan berdasarkan data arah dan kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 4.52



Gambar 4. 52 Hasil Overlay SO₂ Musim Hujan

Berdasarkan Gambar 4.52 dapat diketahui bahwa daerah pada periode pemodelan parameter SO₂ di musim hujan (Kuartal 1) adalah wilayah barat dan selatan sumber. Hal ini sesuai dengan arah angin dominan pada Gambar 4.11. Jarak wilayah yang terkena dampak terburuk yaitu sekitar ± 300 m. Konsentrasi dispersi emisi yang diterima penduduk berdasarkan hasil pemodelan yaitu berada pada rentang $40 \mu\text{g}/\text{Nm}^3 - 60 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$

Dibandingkan dengan ISPU berdasarkan Kep Bapedal No 107 Tahun 1997, konsentrasi dispersi emisi SO₂ berada pada rentang $40 \mu\text{g}/\text{Nm}^3 - 60 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ memiliki nilai 10. Nilai tersebut menunjukkan kategori baik.

B. Parameter NO₂

Hasil overlay parameter NO₂ pada musim hujan berdasarkan data arah dan kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 4.53



Gambar 4. 53 Hasil *Overlay* NO₂ Musim Hujan

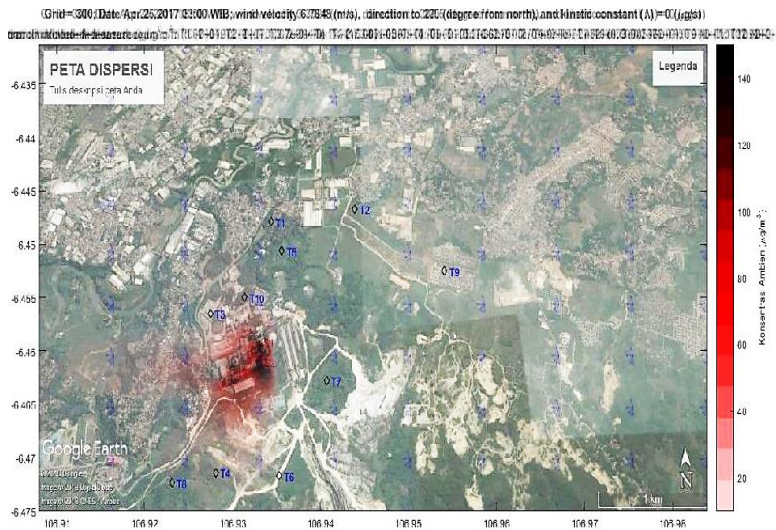
Berdasarkan Gambar 4.53 dapat diketahui bahwa daerah pada periode pemodelan parameter NO₂ di musim hujan (Kuartal 1) didominasi wilayah barat dan sebagian wilayah timur pabrik. Wilayah timur yang terkena dampak buruk masih merupakan wilayah tambang pabrik.

Konsentrasi emisi NO₂ pada jarak < 1 km, berdasarkan hasil overlay pemodelan berada pada rentang 40 µg/Nm³ – 100 µg/Nm³. Dibandingkan dengan ISPU berdasarkan Kep Bapedal No 107 Tahun 1997, konsentrasi dispersi emisi SO₂ berada pada rentang 40 µg/Nm³ – 100 µg/Nm³ memiliki nilai 10. Nilai tersebut menunjukkan kategori baik.

4.5.2. Musim Kemarau

A. Parameter SO₂

Hasil overlay parameter SO₂ pada musim kemarau berdasarkan data arah dan kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 4.54



Gambar 4. 54 Hasil *Overlay* SO₂ Musim Kemarau

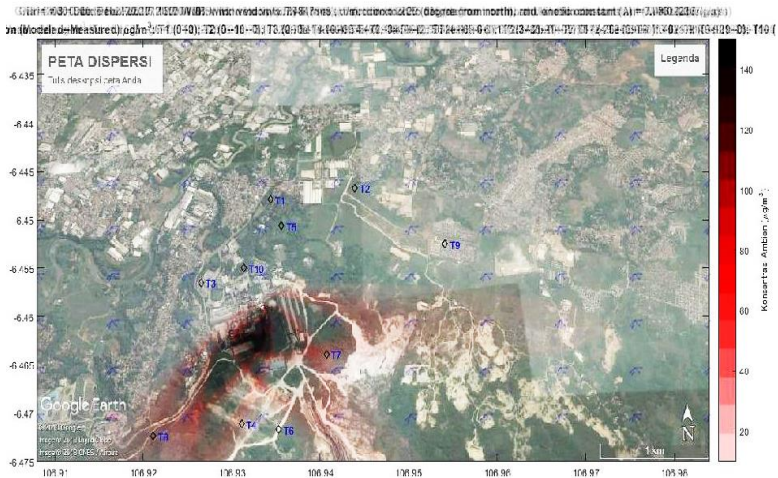
Berdasarkan Gambar 4.54 dapat diketahui bahwa daerah pada periode pemodelan parameter SO₂ di musim kemarau (Kuartal 2) didominasi wilayah selatan pabrik. Hal ini sesuai dengan arah angin dominan pada Gambar 4.27.

Jarak pemukiman penduduk terkena dampak terburuk dispersi emisi sumber yaitu pada jarak ± 500 m. Konsentrasi dispersi emisi yang diterima penduduk berdasarkan hasil pemodelan yaitu berada pada rentang $40 \mu\text{g}/\text{Nm}^3 - 80 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$

Dibandingkan dengan ISPU berdasarkan Kep Bapedal No 107 Tahun 1997, konsentrasi dispersi emisi berada pada rentang $40 \mu\text{g}/\text{Nm}^3 - 80 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ memiliki nilai 10. Nilai tersebut menunjukkan kategori baik.

B. Parameter NO₂

Hasil overlay parameter NO₂ pada musim kemarau berdasarkan data arah dan kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 4.55



Gambar 4. 55 Hasil Overlay NO₂ Musim Kemarau

Berdasarkan Gambar 4.55 dapat diketahui bahwa daerah pada periode pemodelan parameter NO₂ di musim kemarau (Kuartal 2) didominasi wilayah barat dan sebagian wilayah timur pabrik. Wilayah timur yang terkena dampak buruk masih merupakan wilayah tambang pabrik.

Jarak pemukiman penduduk yang terkena dampak seperti parameter SO₂. Dengan konsentrasi dispersi emisi yang diterima berada pada rentang 100 µg/Nm³ – 120 µg/Nm³. Dibandingkan dengan ISPU berdasarkan Kep Bapedal No 107 Tahun 1997, konsentrasi dispersi emisi berada pada rentang 100 µg/Nm³ – 120 µg/Nm³ memiliki rentang nilai 10-100. Nilai tersebut menunjukkan kategori baik hingga sedang.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan konsentrasi SO_2 dan NO_2 dari sumber industri semen Kabupaten Bogor menggunakan model *Gauss* Termodifikasi dapat diambil kesimpulan sementara sebagai berikut.

1. Persebaran emisi gas NO_2 dan gas SO_2 berdasarkan model sebaran *Gauss* Termodifikasi mengikuti arah angin dominan. Pola persebaran NO_2 dipengaruhi oleh tingkat intensitas radiasi matahari (GRAD). Konsentrasi pada musim kemarau lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi pada musim hujan. Hasil pemodelan menunjukkan adanya pengaruh sumber emisi lain karena nilai $R_{square} < 0,567$.
2. Konsentrasi maksimum SO_2 pada musim hujan dan kemarau diperoleh sebesar $57,6 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan $42,5 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ jarak 0,95 km dari sumber pencemar, yaitu pada wilayah tambang pabrik. Konsentrasi maksimum NO_2 pada musim kemarau dan musim hujan diperoleh sebesar $134,2 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan $117 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ di Jalan Raya Klapanunggal pada jarak 0,65 km dari sumber pencemar.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil pembahasan penelitian antara lain :

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mempertimbangkan faktor koreksi dari sumber emisi lain seperti dari pabrik-pabrik disekitar wilayah.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan faktor-faktor variabel seperti *barrier* (penghalang), elevasi, rasio NO/NO_2 , deposisi dan topografi permukaan.
3. Dilakukan penelitian lebih lanjut terkait visualisasi model dalam 3 dimensi (x,y,z)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- A Noor, H., Sofyan, A. 2013. Inventarisasi Emisi Pencemaran Udara Dan Gas Rumah Kaca Di JABODETABEK Dengan Menggunakan Metode SIG (SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS). **Tugas Akhir**. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Abril,G., Wannaz,E., Mateos,A., Pignata,M. 2014. "Biomonitoring of airborne particulate matter emitted from a cement plant and comparison with dispersion modelling results". **Journal Atmospheris Environment**, 82 :154-163.
- Aji,SB. 2010. Simulasi Dispersi Polutan Dari Kawasan Industri Menggunakan TAPM (*The Air Pollution Model*). **Skripsi**. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Al Smadi,B., Al Zboon, K., Shatnawi,KM. 2009. "Assessment of Air Pollutants Emissions from a Cement Plant: A Case Study in Jordan". **Jordan Journal of Civil Engineering**. Volume 3 Nomor 3.
- Andreasen,A., Mayer,S. 2007. "Use of Seawater Scrubbing for SO₂ Removal from Marine Engine Exhaust Gas". **Basic Research, Process Development, MAN Diesel A/S**. 21, 6:3274-3279.
- Anthika, Riad,S., Sugianto. 2012. Pengaruh Suhu, Kelembapan Udara Dan Kecepatan Angin Terhadap Akumulasi Nitrogen Monoksida Dan Nitrogen Dioksida. **Karya Ilmiah Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau**.
- Assomadi A., Widodo B., Hermana J. 2016. "The Kinetic Approach of NO_x Photoreaction Related to Ground Measurement of Solar Radiation in Estimates of Surface Ozone Concentration". **International Journal of ChemTech Research**. Vol.9, No.07 pp 182-190.
- Assomadi, A.F. 2016. **Pendekatan Baru Model Distribusi Pencemar di Atmosfer Perkotaan**. Disertasi, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Badan Lingkungan Hidup. 2008. **Dokumen Laporan Status Lingkungan Hidup**. Jawa Barat
- Badan Pusat Statistik. 2017. **Kabupaten Bogor dalam Angka**. Bogor: Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor.

- Bediako,M., Amankwah,EO. 2015. "Analysis of Chemical Composition of Portland Cement in Ghana: A Key to Understand the Behavior of Cement". **Journal Advances in Materials Science and Engineering**. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/349401>.
- Beyhock M. R. 2005. **Fundamental of Stack Gas Dispersion 4th Edition**. California : Newport Beach.
- Direktorat Jendral Pengendalian Penyakit dan Pentehatan Lingkungan. 2012. **Dampak Kesehatan Akibat Polusi Udara**, <URL:<http://pppl.depkes.go.id/berita?id=1382>>.
- Dewi,N.W.S.P. 2017. ESTIMASI POLA DISPERSI DEBU, SO₂ DAN NO_x DARI PT HOLCIM INDONESIA Tbk, BOGOR MENGGUNAKAN MODEL GAUSS. **Thesis**. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Hakiki,M. 2008. Pendugaan Konsentrasi Permukaan Polutan SO₂ Menggunakan Model *Gaussian* (Studi Kasus:PT.Yamaha Motor Manufacturing,Jakarta). **Skripsi**. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Handriyono,E., Kusuma,N. 2017. Estimasi Beban Emisi SO₂ dan NO_x Dari Kegiatan Industri Di Karang Pilang Surabaya. **Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V**. ISBN 978-602-98569-1-0.
- Hassan, H. 2000. "Appilcation of Line Source Air Quality Model to TH Study o Traffic Carbon Monoxida in Brunei Darussalam". **ASEAN Journal on Science and Technology for Development**. Vol. 17 No 1.
- Hasibuan,F., Warsito., Suciyadi,SW. 2015. "Simulasi Model Dispersi Polutan Gas dan Partikulat Molekul Pada Pabrik Semen Dengan Menggunakan Software Matlab 7.12". **Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika**. Vol. 03, No. 02.
- Hendriks, C. A., Worrell, E., Jager, D., Blok, K. and Riemer, Pierce. 1998. **Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry**, Presented at the 4th International Conference on Greenhouse Gas Control.
- Hindy, KT.,Shafy,Abdel.,SA,Faraq.1990."The role of the cement industry in the contamination of air, water, soil and plant with vanadium in Cairo".**Journal Environmental Pollution**.66,3:195-205.

- Huang,Y., Tang,C., Du,J., Hongfang,J. 2015. "Endogenous Sulfur Dioxide: A New Member of Gasotransmitter Family in the Cardiovascular System". **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**.
<http://dx.doi.org/10.1155/2016/8961951>
- Jacobson, M.Z.2002.Atmospheric Pollution.UK : **Cambridge University Press**.
- Jayamurugan,R., B.Kumaravel., S.Palanivelraja., M.P Chockalingam. 2013. "Influence of Temperature, Relative Humidity and Seasonal Variability on Ambient Air Quality in a Coastal Urban Area". **International Journal of Atmospheric Sciences**.
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor 107 Tahun 1997. **Pedoman Teknis Perhitungan dan Pelaporan serta Informasi Indeks Standar Pencemar Udara**. Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan
- Li Xiangyi S. 2008. "Plume Rise and Ground Level Concentration of Emission from Distributed Power Generation Unit: field Observation and Water Channel Modelling".
- Macdonald R. 2003. **Theory and Objectives of Air Dispersion Modeling**. Waterloo: Department of Mechanical Engineering. University of Waterloo.
- Meo, S. A. 2003. "Chest Radiological Findings in Pakistani Cement Mill Workers". Saudi Medical Journal, 3:287-290.
- Meteotrend. 2018. **Perubahan Cuaca di Kabupaten Bogor**.
 <URL:<http://id.meteotrend.com/forecast/id/citeureup/>>.
- Nauli T. 2002. "Pola Sebaran Polutan Dari Cerobong Asap". **Prosiding Pertemuan dan Presentasilimiah Penelltnan Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-BATAN**, 27 Junl 2002. Yogyakarta
- Newman,F,J., Klein,P,M. 2014. The Impacts of Atmospheric Stability on the Accuracy of Wind Speed Extrapolation Methods. **International resources journal**. ISSN 2079-9276. doi:10.3390/resources3010081.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 45 Tahun 1997. **Indeks Standar Pencemar Udara**. Menteri Negara Lingkungan Hidup.Jakarta.

- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 19 Tahun 2017. **Baku Mutu Emisi Bagu Usaha Dan/Atau Kegiatan Industri Semen**. Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. Jakarta
- Permatasari, AIA. 2014. Analisis Pemetaan Kualitas Udara Ambien Menggunakan Perangkat Lunak *ARCGIS 10* Dan Model Dispersi *Gauss*. **Thesis**. Semarang: Universitas Dipenogoro
- Poskota. 2016. Menperin: Laju Pertumbuhan Industri Semen Meningkat. (Diakses pada 04/01/2018 pukul 22:30)
- Prayudi, T., Susanto, Joko P. 2003. "Kualitas Debu Dalam Udara Sebagai Dampak Industri Pengcoran Logam Ceper". **Jurnal Teknologi Lingkungan**. 2, 2: 168-174.
- Ramadhani, A. 2017. Pemodelan Dispersi Pencemaran Udara Sumber Majemuk Industri Semen di Kabupaten Tuban. **Jurnal Teknik ITS**. Vol 6, No 2.
- Ruhat, Y. 2008. "Model Prediksi Distribusi Laju Penyebaran Sulfur Dioksida dan Debu dari Kawasan Industri (Studi Kasus di Kota Cirebon)". **Jurnal Agromet Indonesia**. Vol. 22 No. 1.
- Salama HMH., Al-Rumaih MM., Al-Dosary MA. 2011. "Effect of Riyadh cement industry pollutions on some physiological and morphological factors of *Datura innoxia* Mill, Plant". **Saudi J Bio Sci**. 18: 227-237.
- Song, Fei., Jin Young, Shin., Rafael Jusino-Atresino., Yuan Gao. 2011. "Relationships among the springtime ground-level NO_x , O_3 and NO_3 in the vicinity of highways in the US East Coast". **Atmospheric Pollution Research**. 2 : 374-383.
- Sugiharti. 2009. Gas Pencemar Udara Dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia. **Jurnal Chemical**, 10 : 50-58.
- Suhyang, Kim., Ki-Hong Hong., Hwandon Jun., Young-Jae Park., Moojong Park. 2014. "Effect of Precipitation on Air Pollutant Concentration in Seoul, Korea". **Asian Journal of Atmospheric Environment**, 8-4 : 201-202
- Summaryati. 2013. "PERAN RADIASI MATAHARI DALAM PROSES PEMBERSIHAN SO_2 DAN NO_x DI TROPOSFER". **Seminar Sains Atmosfer**. ISBN : 978-979-1458-73-3
- Sutanto., Iryani, A. 2011. "Hujan Asam dan Perubahan Kadar Nitrat dan Sulfat dalam Air Sumur di Wilayah Industri Cibinong-Citeureup Bogor". **Jurnal Teknologi Pengolahan Limbah**, 14, 1-9.

- Suryani, S., Gunawan., Upe, A. 2010. "Model Sebaran Polutan SO₂ pada Cerobong Asap PT Semen Tonasa". **Kongges dan Seminar Nasional Badan Koordinasi Pusat Studi Lingkungan Hidup se-Indonesia ke XX**, 14 Mei 2010 Pekanbaru. Universitas Hasanudin.
- Tao,XX., Chen,H., Shi,KY., Lv,ZP. 2010. "Identification and biological characteristics of a newly isolated fungus *Hypocrea lixii* and its role in lignite bioconversion". **African Journal of Microbiology Research** 4, 17:1842-1847.
- Tsonis, A. 2007. **An Introduction to Atmospheric Thermodynamics Second Edition**. Cambridge : Cambridge University Press.
- US-EPA. 1992. **Screening Procedure for Estimating Air Quality Impact of Stationary Source**. North Carolina : U.S EPA.
- US-EPA. 1995. **SCREEN3 Model User's Guide**. North Carolina : U.S EPA.
- Vallero, D.A. 2008. *Fundamentals of Air Pollution*. London : Elsevier.
- Visscher, A. 2014. *Air Dispersion Modelling*. New Jersey : John Willwy & Sons Inc.
- Wang,SX., Zhang,L., Li,GH., Wu,Y., Hao,JM., Pirrone,N., Sprovieri,F., Ancora,MP. 2010. "Mercury emission and speciation of coal-fired power plants in China". **Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union**. 10 : 1183-1192.
- Yoo, J.M., Lee, Y.R., Kim, D., Jeong, M.J., Stockwell,W.R., Kundu, P.K., Oh, S.M., Shin, D.B., Lee, S.J. 2014. "New indices for wet scavenging of air pollutants (O₃, CO, NO₂, SO₂, and PM₁₀) by summertime rain". **Atmospheric Environment Journal**. 82 :226-237.
- Zhang, B.,Yang,Y.2011."Wind speed changes and its influencing factors in southwestern China".**Journal Environmental Atmosphere**. 34, 2:471-481.DOI: 10.5846/stxb201305141051

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1

Script MATLAB Program Dispersi

L1.1 Point Source Dengan Fungsi Loop

```
%% Insert Peta Administratif
img = imread('PETA_DISPERSI.jpg');
min_x = xlsread('UPDM_V11', 'Phys_Data', 'C31');
max_x = xlsread('UPDM_V11', 'Phys_Data', 'C32');
min_y = xlsread('UPDM_V11', 'Phys_Data', 'C33');
max_y = xlsread('UPDM_V11', 'Phys_Data', 'C34');
imagesc([min_x max_x], [min_y max_y],
flipud(img));
set(gca, 'ydir', 'normal');
hold on; sc =
111322; %skala rata-rata
m/degree
%% Konstanta Difusivitas
Dify = 100; Difz = 200;

% difusivitas horizontal dan vertical (m2/s)
Dy = Dify; Dz = Difz; % difusifitas
dalam m

%% 1. Points Sources
%% 1.1. Data beban emisi (g/s)
Q =
Factor*xlsread('UPDM_V11', 'PointS', 'I4:I10');
%input beban (g/s)

%% 1.2. Data teknis stack
stack =
xlsread('UPDM_V11', 'PointS', 'E4:E10');
% input tinggi efektif stack (m)
receptor = 1.5; % tinggi
receptor dalam m
%posisi stack
```

```

xs = xlsread('UPDM_V11','Points','D4:D10'); %
input koordinat x stack
ys =
xlsread('UPDM_V11','Points','C4:C10');      %
input koordinat y stack

%Efektif plume dalam deg
z = receptor; % tinggi receptor m

%% Resolusi (GRID)
[x,y] = meshgrid
(linspace(min_x,max_x,grid),linspace(min_y,max_y
,grid));
cP = zeros(size(x));
e = ones(size(x));
aa = (90-a)*pi/180; % a = arah angin
ke ... dengan acuan utara (N = 0) searah jarum
jam

%% 1.3. jarak x dan y dari sumber searah angin
v = s; % kec angin m/s

%% 1.4. Perhitungan konsentrasi Dispersi
for i=1:length(Q)
    str = ['S',num2str(i)];
    plot(xs(i),ys(i),'ok');
    text(xs(i), ys(i),str,'color','r');
    H = stack(i);
    xx = ((x - xs(i))*cos(aa) - (ys(i) -
y)*sin(aa))*sc; % jarak x dalam m
    yy = ((y - ys(i))*cos(aa) + (xs(i) -
x)*sin(aa))*sc; % jarak y dalam m
    c1 = ((39.2-
3.25*v).* (v^2)./ ((xx>0).*xx)).*(1000000*Q(i)*e./
(2*4*pi*(xx>0).*xx*sqrt(Dy*Dz))).*exp(-
v*yy.*yy./(4*Dy*(xx>0).*xx)).*...
(exp(-v*(z-H)).*(z-
H)*e./(4*Dz*(xx>0).*xx))+exp(-
v*(z+H)).*(z+H)*e./(4*Dz*(xx>0).*xx))).*...
exp(-lambda*(xx>0).*xx/v);

```

```

        c1(isinf(c1))=0;
        cP = cP + c1;
        cP(isnan(cP))=0;
end
%% 2. Lines Sources
%% 2.1. Data beban emisi (g/s)
QJ =
Factor*xlsread('UPDM_V11','LineS','K4:K125');
        %input beban (g/s)

%% 2.2. LS_Data teknis sumber rata-rata
HE = 0.4;                % input tinggi sumber (m)
Hs = HE;                 % tinggi dalam m

%posisi jalan
x1 = xlsread('UPDM_V11','LineS','E4:E125'); %
input koordinat x awal jalan
x2 = xlsread('UPDM_V11','LineS','F4:F125'); %
input koordinat x akhir jalan
y1 = xlsread('UPDM_V11','LineS','C4:C125'); %
input koordinat y awal jalan
y2 = xlsread('UPDM_V11','LineS','D4:D125'); %
input koordinat y akhir jalan
%Efektif plume dalam deg
cLS = zeros(size(x));
dz = Dz/100;
ma = tan((90-a)*pi/180);
% gradient arah angin terhadap reference (east)

%% 2.3. Perhitungan konsentrasi Dispersi
for j=1:length(QJ)
    str = num2str(j);
    plot([x1(j) x2(j)], [y1(j)
y2(j)], 'LineStyle', '-', 'LineWidth', 1, 'color'...
        , 'm');text((x1(j)+x2(j))/2, (y1(j)+y2(j))
/2, str, 'color', 'r');
    m = (y2(j) - y1(j))/(x2(j) - x1(j)) ;
    k = y1(j) - m*x1(j);
    A = atan(m)*180/pi;
    B = (a-90) + A;

```

```

d = ((-
y+m*x+k)/(1+m^2)^0.5)/(sin(B.*pi/180))*sc;
xe = (ma*x - m*x2(j) - y + y2(j))./(ma-m);
ye = m*(xe-x2(j))+y2(j);
Le = abs(y2(j) - y1(j));
EF = 0.5*Le - abs(ye - 0.5*(y2(j)+y1(j)));
E= (EF>=0).*EF; COR=E./E;
COR(isnan(COR))=0;
%if d==0
% cJ =
1000*(QJ(j)*e./(sqrt(2*pi)*dz)).*sc^(-3);
%else
cJ = ((36.5-
3.25*v).*(v^2)./((d>0).*d)).*(QJ(j)*e./(sqrt(2*pi)
i).*(d>0).*d.*dz)).*...
(exp(-v*(z-Hs)*(z-
Hs)*e./(4*dz*(d>0).*d))+exp(-
v*(z+Hs)*(z+Hs)*e./...
(4*dz*(d>0).*d))).*exp(-
lambda*(d>0).*d./v);
% end
cJ(isinf(cJ))=0; cJ(isnan(cJ))=0; cLS1 =
cJ.*COR;
cLS = cLS + cLS1;
end

c=cP+cLS;

%% Titik Sampling Ambient
xT10 = 106.93139; yT10 = -6.45499;
xT9 = 106.9541; yT9 = -6.452503;
xT8 = 106.9231; yT8 = -6.47236;
xT7 = 106.9407; yT7 = -6.4628;
xT6 = 106.9353; yT6 = -6.4717;
xT5 = 106.9356; yT5 = -6.4506;
xT4 = 106.9281; yT4 = -6.4714;
xT3 = 106.9275; yT3 = -6.4565;
xT2 = 106.9439; yT2 = -6.4467;
xT1 = 106.93435; yT1 = -6.4479;

```

```

I10=c(round(grid*(yT10-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT10-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D10 = Dt10;
I9=c(round(grid*(yT9-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT9-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D9 = Dt9;
I8=c(round(grid*(yT8-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT8-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D8 = Dt8;
I7=c(round(grid*(yT7-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT7-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D7 = Dt7;
I6=c(round(grid*(yT6-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT6-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D6 = Dt6;
I5=c(round(grid*(yT5-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT5-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D5 = Dt5;
I4=c(round(grid*(yT4-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT4-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D4 = Dt4;
I3=c(round(grid*(yT3-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT3-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D3 = Dt3;
I2=c(round(grid*(yT2-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT2-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D2 = Dt2;
I1=c(round(grid*(yT1-min_y)/(max_y -
min_y),0),round(grid*(xT1-min_x)/(max_x -
min_x),0)); D1 = Dt1;

%% Plot Pola Dispersi
conts=10:10:150;
ch =contour(x,y,c,conts,'Fill','on');
clabel(ch,[]);
map = [0,0,0
       0.122,0,0
       0.25,0,0
       0.375,0,0
       0.5,0,0

```

```

0.625,0,0
0.75,0,0
0.875,0,0
1,0,0
1,0.125,0.125
1,0.25,0.25
1,0.375,0.375
1,0.5,0.5
1,0.625,0.625
1,0.75,0.75];
colormap(flipud(map)); c = colorbar;
c.Label.String = 'Konsentrasi Ambien
(\mu g/m^3)';

%% Insert Peta Administratif

img = imread('PETA_DISPERSI.jpg');

imagesc([min_x max_x], [min_y max_y],
flipud(img));
set(gca,'ydir','normal');
hold on; alpha(0.4)
%% Plot Angin vektor
[x,y] = meshgrid
(linspace(min_x,max_x,10),linspace(min_y,max_y,1
0));
vel = v*0.00000907;
u = vel*cos((90-a)*pi/180)*ones(size(x));
w = vel*sin((90-a)*pi/180)*ones(size(y));
wind_speed = sqrt(u.^2 + w.^2 );
quiver(x,y,u,w,0.1,'b');
axis([min_x max_x min_y max_y]);

%% title and ambient point Plot
title(['Grid = ',num2str(grid),'; Date ',t, '
WIB; wind velocity ', num2str(s), ' (m/s), ', '
direction to ', num2str(a), ' (degree from
north), and kinetic constant (\lambda) = ',
num2str(lambda), ' (\mu g/s)'];...

```

```

        ['Concentration (Modeled--Measured)
\mug/m^3: T1 (' ,num2str(I1), '--', num2str(D1), ');
T2 (' ,num2str(I2), '--', num2str(D2), '); T3
(' ,num2str(I3), '--', num2str(D3), '); T4
(' ,num2str(I4), '--', num2str(D4), '); T5
(' ,num2str(I5), '--', num2str(D5), '); T6
(' ,num2str(I6), '--', num2str(D6), '); T7
(' ,num2str(I7), '--', num2str(D7), '); T8
(' ,num2str(I8), '--', num2str(D8), '); T9
(' ,num2str(I9), '--', num2str(D9), '); T10
(' ,num2str(I10), '--', num2str(D10), ')']});

plot(xT10,yT10,'dk');text(xT10, yT10,'
T10','color','b');
plot(xT9,yT9,'dk');text(xT9, yT9,'
T9','color','b');
plot(xT8,yT8,'dk');text(xT8, yT8,'
T8','color','b');
plot(xT7,yT7,'dk');text(xT7, yT7,'
T7','color','b');
plot(xT6,yT6,'dk');text(xT6, yT6,'
T6','color','b');
plot(xT5,yT5,'dk');text(xT5, yT5,'
T5','color','b');
plot(xT4,yT4,'dk');text(xT4, yT4,'
T4','color','b');
plot(xT3,yT3,'dk');text(xT3, yT3,'
T3','color','b');
plot(xT2,yT2,'dk');text(xT2, yT2,'
T2','color','b');
plot(xT1,yT1,'dk');text(xT1, yT1,'
T1','color','b')
clc

```

L1.2 Analisis Timeseries Dengan Fungsi Loop

```
clear;
```

```

grid = 300;           % resolusi perhitungan
(membagi area perhitungan menjadi n x n grid),
18562 s
T1 =
xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','B4:B243');
T2 =
xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','C4:C243');
T3 =
xlsread('UPDM_V11.xlsx','AQ_Data','D4:D243');

arah=xlsread('UPDM_V11.xlsx','Phys_Data','AD4:AD
243'); speed =
xlsread('UPDM_V11.xlsx','Phys_Data','AC4:AC243')
;
fc =
xlsread('UPDM_V11.xlsx','Phys_Data','AI4:AI243')
; lbd =
0.000002*xlsread('UPDM_V11.xlsx','Phys_Data','AJ
4:AJ243');
DateNumber = 736802; formatOut = 'mmm.dd,yyyy
HH:MM'; time = datestr(DateNumber,formatOut);% 1
Jan 2010 = 734139, 2 Jan 2010 = 734140, 1 Agust
2011 = 734716, 1 Mar 2012 = 734929
%% dispersi
for n=1:length(arah);
    Dt1 = T1(n);Dt2 = T2(n);Dt3 = T3(n);Dt4 =
T4(n);Dt5 = T5(n);Dt6 = T6(n);Dt7 = T7(n);Dt8 =
T8(n);Dt9 = T9(n);Dt10 = T10(n);
    Factor = fc(n); lambda = lbd(n);
    a=arah(n); s=speed(n); t =
datestr(DateNumber+(n)*0.041666666667,formatOut);
    cla;
    PSL_S_Loop2_promosi;
    drawnow
    MOD = [I1 I2 I3 I4 I5 I6 I7 I8 I9 I10];
    my_cell = sprintf('B%s',num2str(n+3));

A=xlswrite('UPDM_V11.xlsx',MOD,'Result_Model',my
_cell);
end

```



```

%% Analysis
MOD1=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','B4:B243'
);
MOD2=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','C4:C243'
);
MOD3=xlsread('UPDM_V11','Result_Model','D4:D243'
);

t = 1:240;      % range max - range min + 1

ts1 = timeseries(T1,1+t);ts11 =
timeseries(MOD1,1+t);
ts2 = timeseries(T2,1+t);ts21 =
timeseries(MOD2,1+t);
ts3 = timeseries(T3,1+t);ts31 =
timeseries(MOD3,1+t);

ts1.TimeInfo.Units = 'hours';ts11.TimeInfo.Units
= 'hours';
ts2.TimeInfo.Units = 'hours';ts21.TimeInfo.Units
= 'hours';
ts3.TimeInfo.Units = 'hours';ts31.TimeInfo.Units
= 'hours';

ts1.TimeInfo.StartDate = '17-April-2017
00:00';ts11.TimeInfo.StartDate = '17-April-2017
00:00';      % Set start date.
ts2.TimeInfo.StartDate = '17-April-2017
00:00';ts21.TimeInfo.StartDate = '17-April-2017
00:00';      % sesuaikan dengan DateNumber
ts3.TimeInfo.StartDate = '17-April-2017
00:00';ts31.TimeInfo.StartDate = '17-April-2017
00:00';

ts1.TimeInfo.Format = 'MMM d
HH:mm';ts11.TimeInfo.Format = 'MMM d
HH:mm';      % Set format for display on x-
axis.

```

```

ts2.TimeInfo.Format = 'MMM d
HH:mm';ts21.TimeInfo.Format = 'MMM d HH:mm';
ts3.TimeInfo.Format = 'MMM d
HH:mm';ts31.TimeInfo.Format = 'MMM d HH:mm';

ts1.Time = ts1.Time - ts1.Time(1);ts11.Time =
ts11.Time - ts11.Time(1);           % Express time
relative to the start date.
ts2.Time = ts2.Time - ts2.Time(1);ts21.Time =
ts21.Time - ts21.Time(1);
ts3.Time = ts3.Time - ts3.Time(1);ts31.Time =
ts31.Time - ts31.Time(1);

figure('Name','Simulation Plot T1-MOD
','NumberTitle','off')
subplot(2,2,[1,2])
plot(ts1,'-k'); hold on
plot(ts11,'--b'); grid; title('T-1, Data and
Model Plotted');
legend('data','model','Location','northeast','Or
ientation','horizontal');
ylabel('[NOx]-ambient (\mug/m^3)'); hold off
subplot(2,2,3)
p = polyfit(T1,MOD1,1); a = p(1); b = p(2); yMOD
= a*T1+b; plot(T1,MOD1,'.k',T1,yMOD); grid;
legend('T-MOD','L-
Regression','Location','southeast');
rmse = rms(MOD1 - T1); T = corrcoef(T1,MOD1);
ylabel('model');
xlabel('data');title({'Correlations T1-
MODEL'; ['RMSE = ',num2str(rmse),'; R =
',num2str(T(1,2)), ' (MOD = ',num2str(p(1)), ' x
T1 + ',num2str(p(2)), ')']});

figure('Name','Simulation Plot T2-MOD
','NumberTitle','off')
subplot(2,2,[1,2])
plot(ts2,'-k'); hold on
plot(ts21,'--b'); grid; title('T-2, Data and
Model

```

```

Ploted'); legend('data', 'model', 'Location', 'north
east', 'Orientation', 'horizontal');
ylabel(' [NOx]-ambient (\mug/m^3) ');
subplot(2,2,3)
p = polyfit(T2,MOD2,1); a = p(1); b = p(2); yMOD
= a*T2+b; plot(T2,MOD2, '.k', T2,yMOD); grid;
legend('T-MOD', 'L-
Regression', 'Location', 'southeast');
rmse = rms(MOD2 - T2); T = corrcoef(T2,MOD2);
ylabel('model');
xlabel('data'); title({'Correlations T2-
MODEL'; ['RMSE = ', num2str(rmse), '; R =
', num2str(T(1,2)), ' (MOD = ', num2str(p(1)), ' x
T2 + ', num2str(p(2)), ') ']});

figure('Name', 'Simulation Plot T3-MOD
', 'NumberTitle', 'off')
subplot(2,2,[1,2])
plot(ts3, '-k'); hold on
plot(ts31, '--b'); title('R-3, Data and Model
Ploted'); legend('data', 'model', 'Location', 'north
east', 'Orientation', 'horizontal');
ylabel(' [NOx]-ambient (\mug/m^3) ');
subplot(2,2,3)
p = polyfit(T3,MOD3,1); a = p(1); b = p(2); yMOD
= a*T3+b; plot(T3,MOD3, '.k', T3,yMOD); grid;
legend('T-MOD', 'L-
Regression', 'Location', 'southeast');
rmse = rms(MOD3 - T3); T = corrcoef(T3,MOD3);
ylabel('model');
xlabel('data'); title({'Correlations T3-
MODEL'; ['RMSE = ', num2str(rmse), '; R =
', num2str(T(1,2)), ' (MOD = ', num2str(p(1)), ' x
T3 + ', num2str(p(2)), ') ']});

plot(ts101, '-k'); hold on; plot(ts91, '-k'); hold
on; plot(ts81, '-k'); hold on; plot(ts71, '-k');
hold on; plot(ts61, '-k'); hold on; plot(ts51, '-
k'); hold on ; plot(ts41, '-r'); hold on ;

```

```

plot(ts31, '-g'); hold on ; plot(ts21, '-b'); hold
on ; plot(ts11, '-y'); hold on
title('T All, Model Ploted'); legend('Model in
T8', 'Model in T7', 'Model in T6', 'Model in
T5', 'Model in T4', 'Model in T3', 'Model in
T2', 'Model in
T1', 'Location', 'southoutside', 'Orientation', 'hor
izontal');
ylabel('[NOx]-ambient (\mug/m^3)');
T = [T1;T2;T3;T4;T5;T6;T7;T8;T9;T10]; MOD =
[MOD1;MOD2;MOD3;MOD4;MOD5;MOD6;MOD7;MOD8;MOD9;MO
D10];
subplot(2,1,2)
p = polyfit(T,MOD,1); a = p(1); b = p(2); yMOD =
a*T+b; plot(T,MOD, '.k', T, yMOD); grid; legend('T-
MOD', 'L-Regression', 'Location', 'southeast');
rmse = rms(MOD - T); T = corrcoef(T,MOD);
ylabel('model');
xlabel('data');title({'Correlations All T-
MODEL'; ['RMSE Total = ', num2str(rmse), '; R =
', num2str(T(1,2)), ' (MOD = ', num2str(p(1)), ' x R
+ ', num2str(p(2)), ') ']});
clear
clc

```

LAMPIRAN 2

Form Input Model dan Hasil Pemodelan Pada Program Excel

L2.1 Form Physical Data

Input the physical data of Atmosphere

No	Paramater	Symbols	Value	Unit
1	Dispersion Coeffisien in horizontal direction	Dy	100	m ² /s
2	Dispersion Coeffisien in vertical (z) direction	Dz	200	m ² /s
3	Ambient Temperature	T ₀	29,4	C
4	Wind speed (average, dominant)	s	3,3	m/s
5	Wind direction (average, dominant)	a	180	° (N)
6	Parameter Analysis	SO ₂	Oxides Sulphur	
7	Kinetic Constant	λ		

Model Setting				
1	Starting Date, time	18/02/2017 1:00		
2	Interval of Analysis	1		hour
3	Grid Number	300		n x n
4	Average length per grid (l, w), modelled	20,76 67	18,23 3	m
Determine the Grid Number				
1	Area length (rectangular assumption)	6,23		km
2	Area width (rectangular assumption)	5,47		km
3	Area modelled per grid (rectangular assumption)	378,65		m ²

4	Grid Number Aproximation	300,00		n x n
5	Average length per grid (l, w), approx	20,76 67	18,23 3	m

Determine of Modelling Area			
1	Lowest Lattitude; min_x	106,908	⁰ (E)
2	Highest Lattitude; max_x	106,984	⁰ (E)
3	Lowest Longitude; min_y	-6,475	⁰ (S)
4	Highest Longitude; max_y	-6,431	⁰ (S)
5	Citie's Identity	Bogor	
6	Insert Administrative Map		

Date, time	Speed (m/s)	Direction to (0, N)
	WIND TRACKER	WIND TRACKER
18/02/2017 1:00	3,2	90
18/02/2017 2:00	1,6	90
18/02/2017 3:00	1,6	90
18/02/2017 4:00	1,6	90
18/02/2017 5:00	1,6	135
18/02/2017 6:00	1,6	90
18/02/2017 7:00	3,2	90
18/02/2017 8:00	1,6	112,5
18/02/2017 9:00	3,2	202,5
18/02/2017 10:00	0,4	45
18/02/2017 11:00	0,4	112,5

Date, time	GRAD (watt/m2)	Speed (m/s)	Kinetic Factor
	BMKG	10 M	
18/02/2017 1:00		6,78	0,000
18/02/2017 2:00		3,39	0,000
18/02/2017 3:00		3,39	0,000
18/02/2017 4:00		3,39	0,000
18/02/2017 5:00		3,39	0,000
18/02/2017 6:00		3,39	0,000
18/02/2017 7:00		6,78	0,000
18/02/2017 8:00		3,39	0,000
18/02/2017 9:00		6,78	0,000
18/02/2017 10:00		0,85	0,000
18/02/2017 11:00		0,85	0,000

	Daily Factor	Weekly Factor	Totally Factor
Date, time			
20/02/2017 0:00	1,191	1,276042	1,520
20/02/2017 1:00	1,269	1,276042	1,619
20/02/2017 2:00	1,111	1,276042	1,418
20/02/2017 3:00	1,027	1,276042	1,310
20/02/2017 4:00	1,107	1,276042	1,412
20/02/2017 5:00	1,017	1,276042	1,298
20/02/2017 6:00	1,150	1,276042	1,468
20/02/2017 7:00	1,032	1,276042	1,316
20/02/2017 8:00	1,249	1,276042	1,594
20/02/2017 9:00	1,347	1,276042	1,718
20/02/2017 10:00	1,231	1,276042	1,571

L2.2 Form Points

Input the Point Sources technical data
--

N o.	Stack's identit y	y - coordina te	x - coordina te	technical height (m)	inner diameter average (m)	load (g/s)
1	N1	-6,4591	106,9335	66	4,5	5,359
2	N2	-6,4610	106,9336	100,95	5,7	7,575
3	N3	-6,4518	106,9334	45,5	1,2	0,927
4	N4	-6,4516	106,9192	10	1,49	2,320
5	N5	-6,4523	106,9193	44,5	0,6	6,753
6	N6	-6,4521	106,9334	52,66	1,2	1,631
7	N7	-6,4521	106,9194	38,4	3,6	10,454

L2.3 Form Data Pengukuran Ambien

SO ₂	Air Quality Data									
Date, time	Ambient Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
21/02/2017 9:00	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0
21/02/2017 10:00	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0
21/02/2017 11:00	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0
21/02/2017 12:00	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0
21/02/2017 13:00	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0
21/02/2017 14:00	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0
21/02/2017 15:00	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0
21/02/2017 16:00	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0
21/02/2017 17:00	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0
21/02/2017 18:00	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0

21/02/2017 19:00	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0
------------------	---	----	---	---	---	---	---	---	---	---

L2.3 Form Data Hasil Pemodelan

so2	Air Quality Model Result									
Date, time	Estimation of Concentration in									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
20/02/2017 0:00	0	0,2	0	0	0,3	0	1,6	0	0,3	0,3
20/02/2017 1:00	0	0	0	0	0	0	2,1	0	0,1	0
20/02/2017 2:00	0	0	0	0	0	0	3,1	0	0,2	0
20/02/2017 3:00	0	0	0	0	0	0	23,4	0	0,2	0
20/02/2017 4:00	0	0	0	0	0	0	3,5	0	0,2	0
20/02/2017 5:00	0	0	0	0	0	0	3,5	0	0,2	0
20/02/2017 6:00	0	0	0	0	0	0	2,2	0	0,2	0
20/02/2017 7:00	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0,0	0
20/02/2017 8:00	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,8	0

LAMPIRAN 3
BAKU MUTU EMISI

Baku Mutu Lampiran V Permen No 19 Tahun 2017

NO	PARAMETER	SATUAN	NILAI BAKU MUTU		
			A	B	C
1	Partikulat *	mg/Nm ³	75	70	65
2	Sulfur Dioksida (SO ₂)*	mg/Nm ³	650	650	650
3	Nitrogen Oksida (NO _x)*	mg/Nm ³	800	800	800
4	Hidrogen Flourida (HF)	mg/Nm ³	2	2	2
5	Hidrogen Klorida (HCl)	mg/Nm ³	20	20	20
6	Karbon Monoksida (CO)*	mg/Nm ³	3000*	3000*	3000*
7	Total Organic Carbon (TOC) (sebagai CH ₄)*	mg/Nm ³	100	100	100
8	Chromium (Cr)	mg/Nm ³	1	1	1
9	Lead (Pb)	mg/Nm ³	5	5	5
10	Arsenik (As)	mg/Nm ³	1	1	1
11	Cadmium (Cd)	mg/Nm ³	0,2	0,2	0,2
12	Merkuri (Hg)	mg/Nm ³	0,2	0,2	0,2
13	Thallium (Tl)	mg/Nm ³	0,2	0,2	0,2
14	Antimoni (Sb)	mg/Nm ³	0,5	0,5	0,5

15	Cobalt (Co)	mg/Nm ³	0,5	0,5	0,5
16	Copper (Cu)	mg/Nm ³	0,5	0,5	0,5
17	Nikel (Ni)	mg/Nm ³	0,5	0,5	0,5
18	Vanadium (V)	mg/Nm ³	0,5	0,5	0,5
19	Selenium	mg/Nm ³	1	1	1
20	Mangan	mg/Nm ³	5	5	5
21	Berillium	mg/Nm ³	0,1	0,1	0,1
22	PCDD/F (Dioksin dan Furran)**	ng TEQ/ Nm ³	0,1	0,1	0,1

Catatan :

- Nilai baku mutu emisi :
 - A. Bagi industri semen beroperasi sebelum tahun 1990
 - B. Bagi industri semen beroperasi tahun 1990 sampai dengan 2013
 - C. Bagi industri semen mulai beroperasi tahun 2014
- kadar maksimum baku mutu di atas dikoreksi terhadap 10% Oksigen (O₂) pada kondisi 25oC, 760 mmHg.
- Pengukuran emisi dilakukan pada kondisi kering.
- Jenis Limbah B3 yang dimanfaatkan sebagai substitusi bahan baku harus memiliki total kandungan SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ dan CaO ≥ 50% (lebih besar dan/atau sama dengan lima puluh persen)
- Bahan baku harus memiliki kandungan kalori sama atau lebih besar dari 2500 kkal/kg dan memenuhi persyaratan batasan kandungan Total Organic Halide (TOX) ≤ (sama atau lebih kecil dari)

2 % berat basah dan kandungan PCBs maksimal 30 % dr TOX.

- (*) Perusahaan diwajibkan menggunakan CEMS untuk parameter Partikulat, Sulfur Dioksida (SO₂), Nitrogen Oksida (NOX) dan Carbon Monoksida (CO)
- (**) Waktu pengukuran dilakukan sesuai dengan izin pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang ditetapkan.

LAMPIRAN 4

LAPORAN PENGUKURAN AMBIEN PT HOLCIM

4.1 KUARTAL 1



2. 2 Hasil Pengukuran Kualitas Udara Ambien

2.2.1 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Desa Nambo

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	48	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	20	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	79	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,076	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	32	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	1487	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	20	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,02	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	< 0,1	160	Untuk waktu pengukuran 3 jam
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	24,2 – 31,3		
2	Kelembaban	%	58,1 – 89		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 0,9		
4	Arah angin		Ke selatan		

2.2.2 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Perumahan Karyawan

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	14	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	6	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	23	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,017	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	27	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	880	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	11	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,87	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	< 0,1	160	Untuk waktu pengukuran 3 jam
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	23,5 – 32,6		
2	Kelembaban	%	59,8 – 89,5		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 1,1		
4	Arah angin		Ke barat		

2. 2. 3. Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Sekitar Stasiun Bumi Palapa

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	21	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	9	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	35	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,06	2	Untuk waktu pengukuran 1 jam
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	30	900	
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	974	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	18	400	Untuk waktu pengukuran 3 jam
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,75	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	0,15	160	
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	24,6 – 32,8		
2	Kelembaban	%	57,5 – 88,2		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 1		
4	Arah angin		Ke barat		

2.2.4 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Desa Kelapa Nunggal

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	35	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	15	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	58	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,088	2	Untuk waktu pengukuran 1 jam
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	36	900	
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	1125	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	16	400	Untuk waktu pengukuran 3 jam
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,33	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	< 0,1	160	
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	23,9 – 32		
2	Kelembaban	%	59,6 – 89,1		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 1,3		
4	Arah angin		Ke selatan		

2.2.5 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Sebelah selatan Pabrik (Pasir Kemuning)

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	34	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	14	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	55	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,039	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	34	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	1074	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	21	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	0,89	235	Untuk waktu pengukuran 3 jam
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	0,19	160	
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	23,4 – 31,6		
2	Kelembaban	%	59,3 – 89,5		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 1,2		
4	Arah angin		Ke barat		

2.2.6 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Lokasi Tambang 800 Ha

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	24	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	10	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	39	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,016	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	39	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	1040	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	19	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,36	235	Untuk waktu pengukuran 3 jam
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	< 0,1	160	
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	23,9 – 31,9		
2	Kelembaban	%	60 – 89,6		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 0,9		
4	Arah angin		Ke selatan		

2.2.7 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Lokasi Tambang 500 Ha (Ds. Kandang Sapi)

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	18	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	8	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	30	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,025	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	22	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	789	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	10	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,12	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	< 0,1	160	Untuk waktu pengukuran 3 jam
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	23,9 – 31,6		
2	Kelembaban	%	59,2 – 88,3		
3	Kecepatan Angin	m/det	0 – 1,6		
4	Arah angin		Ke selatan		

4.2 KUARTAL 2

2. 2 Hasil Pengukuran Kualitas Udara Ambien

2.2.1 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Desa Nambo

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	68	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	16	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	84	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,102	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	38	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	1650	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	22	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,47	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	< 0,1	160	Untuk waktu pengukuran 3 jam
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	23,8 – 32,8		
2	Kelembaban	%	59,5 – 87,7		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 1,8		
4	Arah angin		Ke selatan		

2.2.2 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Perumahan Karyawan

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	15	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	7	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	25	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,033	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	22	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	788	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	14	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,12	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	< 0,1	160	Untuk waktu pengukuran 3 jam
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	23 – 32,2		
2	Kelembaban	%	80,2 – 89,2		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 2,2		
4	Arah angin		Ke selatan		



2. 2. 3. Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Sekitar Stasiun Bumi Palapa

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	27	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	11	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	42	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,049	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	29	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	876	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	16	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,53	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	0,12	160	Untuk waktu pengukuran 3 jam
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	23,8 – 32,6		
2	Kelembaban	%	59,2 – 89,3		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 2,4		
4	Arah angin		Ke selatan		

2.2.4 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Desa Kelapa Nunggal

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	43	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	16	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	64	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,095	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	42	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	1084	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	15	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	2,07	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	< 0,1	160	Untuk waktu pengukuran 3 jam
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	24,2 – 32,8		
2	Kelembaban	%	57,4 – 89,9		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 2,5		
4	Arah angin		Ke utara		



2.2.5 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Sebelah selatan Pabrik (Pasir Kemuning)

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	43	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	20	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	72	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,036	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	41	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	970	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	27	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,38	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	0,17	160	Untuk waktu pengukuran 3 jam
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	23,1 – 32,8		
2	Kelembaban	%	59,9 – 87,6		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 2,5		
4	Arah angin		Ke utara		

2.2.6 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Lokasi Tambang 800 Ha

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	35	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	13	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	54	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,052	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	33	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	1135	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	24	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,2	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	< 0,1	160	Untuk waktu pengukuran 3 jam
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	23,1 – 32,8		
2	Kelembaban	%	56,7 – 89,5		
3	Kecepatan Angin	m/det	0,1 – 4,2		
4	Arah angin		Ke selatan		



2.2.7 Hasil Pengukuran kualitas udara ambien Lokasi Tambang 500 Ha (Ds. Kandang Sapi)

NO	PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU	KETERANGAN
1	Debu/Partikel PM ₁₀	ug/Nm ³	23	150	Untuk waktu pengukuran 24 jam
2	Debu/Partikel PM _{2,5}	ug/Nm ³	10	65	
3	Debu (TSP)	ug/Nm ³	38	230	
4	Timah Hitam (Pb)	ug/Nm ³	0,028	2	
5	Sulfur Dioksida (SO ₂)	ug/Nm ³	23	900	Untuk waktu pengukuran 1 jam
6	Karbon Monoksida (CO)	ug/Nm ³	820	30.000	
7	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	ug/Nm ³	11	400	
8	Oksidan (O ₃)	ug/Nm ³	1,8	235	
9	Hidrokarbon (HC)	ug/Nm ³	< 0,1	160	Untuk waktu pengukuran 3 jam
Kondisi Cuaca saat sampling pada lokasi Pengukuran					
1	Suhu	(°C)	23,5 – 32,1		
2	Kelembaban	%	59,7 – 87,8		
3	Kecepatan Angin	m/det	0 – 2,3		
4	Arah angin		Ke utara		

LAMPIRAN 5

LAPORAN PENGUKURAN GRAD HARIAN BMKG



BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
STASIUN KLIMATOLOGI BOGOR

Alamat : Jl. Alternatif IPB-Sinagade
Kotak Pos 174 Bogor 16115

Telp. (0251) 8621976
Fax. (0251) 8628468

Email: klimat_bgr@yahoo.com

DATA INTENSITAS PENYINARAN MATAHARI (Cal/Cm²)

Lokasi : Stasiun Klimatologi Bogor
Lintang : 06°31' LS
Bujur : 106°44' BT
Elevasi : 207 m

TAHUN 2016

TANGGAL	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
1	303	196	186	409	274	301	295	298	395	295	313	188
2	301	179	138	348	317	353	377	302	332	232	272	162
3	342	183	317	391	350	290	289	361	388	364	283	238
4	324	181	321	421	280	376	358	386	349	247	315	242
5	307	314	247	298	252	145	360	335	382	187	297	169
6	353	355	390	391	315	262	342	403	383	269	321	230
7	358	276	415	400	357	320	333	385	339	361	343	189
8	414	230	364	346	356	387	332	240	313	360	328	376
9	368	311	408	356	382	254	307	335	364	310	300	349
10	373	214	352	282	338	328	222	393	298	167	324	292
11	370	231	229	330	343	323	320	266	411	278	255	242
12	212	215	427	320	312	337	249	338	428	185	345	247
13	317	303	385	331	318	309	346	208	412	240	293	281
14	353	301	365	360	208	273	375	228	386	296	295	291
15	377	337	441	208	354	296	356	291	322	252	276	310
16	424	255	402	385	202	321	256	242	262	382	334	212
17	324	196	442	287	303	275	299	407	164	366	340	244
18	379	375	340	437	353	145	367	258	326	310	201	299
19	396	367	233	340	364	319	320	400	261	340	381	183
20	294	207	364	309	345	243	258	402	391	333	278	738
21	165	183	262	372	304	349	366	366	284	284	184	266
22	203	265	244	397	377	300	182	373	233	245	280	551
23	153	412	305	343	336	331	384	382	323	152	263	322
24	217	197	440	389	313	353	339	375	307	284	270	352
25	163	196	257	317	292	323	266	240	343	342	159	253
26	379	215	280	156	236	338	399	313	366	309	252	443
27	339	215	356	364	156	185	362	288	343	240	294	281
28	293	178	395	387	284	239	264	314	185	277	201	474
29	443	177	335	213	167	271	423	262	352	348	156	435
30	349		210	225	203	359	342	268	177	262	194	368
31	212		226		164		389	264		335		651

TAHUN 2017

TANGGAL	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
1	676	83	495	562	668	339	533	641	838	695	736	241
2	508	127	373	645	551	164	555	842	601	510	639	187
3	393	42	491	262	555	468	514	684	676	479	459	584
4	123	158	434	618	449	532	535	607	761	582	393	826
5	158	724	408	497	404	543	439	570	597	589	704	480
6	449	597	368	196	408	797	345	478	437	834	614	805
7	562	220	485	204	512	426	460	543	834	555	616	811
8	439	77	476	46	435	560	512	784	543	605	501	480
9	158	71	730	505	314	435	776	495	686	645	491	545
10	231	98	401	792	31	493	447	503	819	362	699	545
11	593	4	601	381	291	284	376	799	664	595	836	308
12	510	83	799	385	620	347	366	387	632	570	466	239
13	256	160	749	277	830	349	343	404	636	730	379	89
14	23	233	453	310	549	241	216	651	657	820	541	37
15	141	387	337	549	549	431	252	520	566	624	100	360
16	137	322	753	435	478	480	314	582	568	270	368	362
17	285	198	817	609	337	468	568	842	582	497	701	437
18	451	191	52	593	528	595	214	478	673	840	391	391
19	584	229	372	514	743	562	607	514	822	293	168	144
20	343	46	33	566	499	524	404	385	601	603	836	187
21	433	100	468	522	275	566	537	532	616	788	185	96
22	418	642	58	599	412	81	472	641	842	616	487	680
23	439	632	52	468	451	189	366	666	610	736	840	410
24	391	347	709	503	591	160	697	614	279	824	557	792
25	441	474	310	456	541	609	566	543	545	530	496	813
26	71	707	376	285	555	154	622	840	356	505	456	584
27	233	605	358	526	335	489	439	412	64	755	73	177
28	89	491	836	641	108	782	447	404	649	406	75	489
29	46		389	468	19	620	322	634	524	125	447	680
30	279		526	668	225	406	645	607	478	824	31	736
31	87		168		468		416	628		757		501

Keterangan :: Curah Hujan ditakar dalam milimeter (mm)

(-) tidak ada hujan

Bogor, 22 Februari 2018

Kasi Data dan Informasi

Stasiun Klimatologi Bogor



Handwritten signature of Hadi Saputra

Hadi Saputra, S.Si, M.Si

NIP. 198005252000031001

LAMPIRAN 6

DATA KETINGGIAN WILAYAH KABUPATEN BOGOR

Tinggi Wilayah di Atas Permukaan Laut (DPL) Menurut Kecamatan di Kabupaten Bogor, 2015

	Kecamatan <i>Districts</i>	Ibukota Kecamatan <i>Capital of Districts</i>	Ketinggian/Height (meter)
1	Nanggung	Parakan Muncang	270
2	Leuwiliang	Leuwimekar	238
3	Leuwisadeng	Leuwisadeng	229
4	Pamijahan	Gunungsari	581
5	Cibungbulang	Cimanggu 2	350
6	Ciampea	Bojongrangkas	188
7	Tenjolaya	Tapos 1	661
8	Dramaga	Dramaga	192
9	Ciomas	Pagelaran	222
10	Tamansari	Tamansari	532
11	Cijeruk	Cipelang	587
12	Cigombong	Cigombong	578
13	Caringin	Cimande Hilir	455
14	Ciawi	Bendungan	518
15	Cisarua	Leuwimalang	789
16	Megamendung	Sukamaju	708
17	Sukaraja	Cimandala	176
18	Babakan Madang	Babakan Madang	224
19	Sukamakmur	Sukamakmur	434
20	Cariu	Cariu	107
21	Tanjungsari	Tanjungsari	178
22	Jonggol	Jonggol	110

23	Cileungsi	Cileungsi	107
24	Klapanunggal	Kembang Kuning	230
25	Gunungputri	Wanaherang	109
26	Citeureup	Puspanegara	136
27	Cibinong	Cirimekar	139
28	Bojonggede	Bojonggede	156
29	Tajurhalang	Tajurhalang	162
30	Kemang	Kemang	175
31	Rancabungur	Rancabungur	165
32	Parung	Parung	127
33	Ciseeng	Cibentang	125
34	Gunungsindur	Gunungsindur	106
35	Rumpin	Rumpin	86
36	Cigudeg	Cigudeg	369
37	Sukajaya	Sukajaya	422
38	Jasinga	Pamagersari	107
39	Tenjo	Singabraja	95
40	Parungpanjang	Parungpanjang	51

BIOGRAFI PENULIS



Anisa Fadhillah Widyani merupakan nama lengkap penulis. Penulis lahir di Trenggalek tanggal 23 Juli 1996. Penulis bertempat tinggal di Kelurahan Tegal Gundil, Kecamatan Bogor Utara, Kota Bogor. Orang tua penulis bernama Ir. H. Anang Widyatmoko dan Dra. Hj. Endah Ariyani. Pendidikan formal penulis antara lain SDN Bantarjati 5 Bogor, SMPN 1 Kota Bogor, SMAN 1 Kota Bogor. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan ITS

Surabaya pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 032 1 14 40000 016.

Selama masa perkuliahan penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa. Penulis tercatat sebagai anggota aktif HMTL ITS, JMMI ITS periode 2016-2017, IMTLI (Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia) periode 2016-2017 dan KOMMUN (Komunitas Muda Nuklir) Surabaya periode 2018-sekarang. Prestasi yang pernah diraih penulis selama masa perkuliahan diantaranya PKM GT terdani tahun 2016, Finalis pada ICASTS (*International Conference for ASEAN Science and Technology Students*) tahun 2015, Finalis Karya Tulis Ilmiah Nasional KMTK UMS tahun 2017 dan lain-lain. Berbagai pelatihan dan seminar di bidang Teknik Lingkungan juga telah diikuti dalam rangka pengembangan diri seperti Pelatihan SMK3 tahun 2018. Informasi lebih lanjut tentang penulis dapat dihubungi melalui email anisa.fadhillahwidyani@gmail.com